

할로잉 운동 시 시각적 피드백 방법에 따른 복근 두께에 미치는 영향 비교

김하림 · 손호희[†]

좋은삼선병원 스포츠센터, ¹부산가톨릭대학교 보건과학대학 물리치료학과

Comparison of the Abdominal Muscle Thickness during Abdominal Hollowing Exercise According to the Visual Feedback Method

Ha-Rim Kim, PT, MSc · Ho-Hee Son, PT, PhD[†]

Department of Sports Exercise Therapy Center, Good Samsun Hospital

¹Department of Physical Therapy, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan

Received: May 27, 2021 / Revised: June 2, 2021 / Accepted: August 9, 2021

© 2021 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: Selective strengthening of the transverse abdominis muscle (TrA) during abdominal hollowing makes an important contribution to the stability and control of the spine. This study examined the effects of abdominal hollowing exercise (AHE) according to the visual feedback method on the external oblique, internal oblique, and transverse abdominis muscles.

METHODS: Twenty healthy subjects were assigned randomly to an AHE with visual feedback from real-time ultrasound image (group A, n = 10), AHE with visual feedback with pressure biofeedback unit (group B, n = 10). Both groups underwent 20 min of AHE with visual feedback once daily, five days/week for two weeks. The changes in the muscle thickness of the TrA, internal oblique abdominal muscle (IO), and external oblique abdominal muscle (EO)

were measured by ultrasonography.

RESULTS: The thickness of TrA was changed significantly in both groups ($p < .05$). However, the lowest minimal detectable changes were achieved in Group A. The thickness of the IO and EO muscles in group A was changed significantly, but there were no significant changes in group B.

CONCLUSION: Both visual feedback methods were effective for strengthening the TrA muscles selectively. Nevertheless, AHE with visual feedback using real-time ultrasound images may be more useful in trA muscle contraction.

Key Words: Abdominal hollowing exercise, Real-time ultrasound image, Transversus abdominis

I. 서론

최근 요추의 안정화를 위해 배가로근, 못갈래근과 같은 심부 척추 주변근육들의 신경근계 조절능력의 회복을 목적으로 하는 체간 안정화(core stabilization) 운동을 많이 사용하고 있다[1-3]. 배가로근은 복부의 심부근으로써 요추를 안정화시키며 기립자세에서 몸통의 안정성에 관여하여 근육을 중력에 대항시키고 활성을 축

[†]Corresponding Author : Ho-Hee Son
sonhh@cup.ac.kr, <http://orcid.org/0000-0003-0905-6484>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

진시켜 자세를 유지시킨다[4]. 최근의 체간 안정화 운동은 요추의 안정화를 목적으로 하는 복부 할로잉 운동(abdominal hallowing exercise, AHE)이 대표적이며, 배가로근을 효율적으로 강화하고 척추 안정성의 최적화를 통해 안정성 저하로 인한 허리 통증을 감소시키기 위해 사용하고 있다[5].

임상에서는 대체로 구두와 촉각자극을 이용한 전통적 AHE를 실시하고 있는데 복부 할로잉 운동의 몇 가지 문제는 배가로근의 정확한 수축이 쉽지 않다는 것이다. 배가로근은 측면 복근 중 가장 깊은 곳에 위치하므로, 눈에 보이거나 선택적으로 수축하기 힘들다, 또한 대부분의 사람들은 자발적으로 배가로근을 수축하는 방법을 모른다[6]. 전통적인 AHE는 배꼽을 머리 바닥 방향으로 당기며 복부를 수축시키고 머리와 상부 체간은 안정성을 유지하여 국소부위의 안정성을 강조한 운동이다[7]. 심부 근육인 배가로근의 수축은 근막의 긴장과 복부 내압을 증가시키고 척추 주변에 더 단단한 원통을 형성한다[8]. 또한 신경근의 재훈련과 배가로근의 운동감각에 도움을 준다[9]. 그러나 구두와 촉각자극만을 이용한 AHE운동은 앞서 언급했듯이 심부 근육인 배가로근을 선택적으로 수축하기가 어렵다.

AHE를 올바르게 수행하기 위해서는 시각적 피드백을 보조로 사용하여 배가로근의 수축을 유도해야 한다[6]. 시각적 보조 장치를 이용하여 근 수축을 실시할 때 수축시키고자 하는 근육 이외의 움직임을 배제시킬 수 있으며, 측정 도중 실험자가 눈으로 보면서 측정할 수 있어 정확한 근육을 수축할 수 있는 이점이 있다[6]. 이에 따라 정확한 배가로근 수축을 유도하기 위해 다양한 방법을 시도하고 있으며 그중 시각적피드백을 활용하기 위해 압력 바이오피드백 장치 또는 실시간 초음파를 사용한 복부할로잉 운동을 가장 많이 사용하고 있다[10]. 압력바이오피드백 장치는 다양한 자세에서 할로잉 운동을 하는 동안 정확한 배가로근 수축을 유도하기 위해 사용하며, 압력 장치의 변화를 통해 근육의 수축과 이완을 알 수 있는 장치이다[11]. 심부 체간 근육의 평가와 환자의 안정화 재교육을 위해 임상적으로 활용되고 있다[10,12]. 반면, 재할 초음파 영상(Rehabilitative Ultrasonic Imaging, RUSI)은 배가로근 등의 심부 근육

이나 조직의 형태와 기능을 평가하기 위해 물리치료사들이 주로 사용하는 비침습적 방법이다[13]. 할로잉 운동 시 복부 근육의 수축 형태를 눈으로 직접 확인할 수 있으며 다양한 수축 자세에서의 복부근 두께 평가에 대한 타당성이 여러 연구에서 확인되었다[14,15].

그러나 시각적 피드백을 사용하는 복부 할로잉 운동 방법 중 압력피드백 장치와 실시간 초음파영상을 활용한 방법을 비교한 논문은 부족한 시점이다. 따라서 본 연구는 허리통증이 없는 정상성인에게 배가로근 강화를 위한 복부할로잉 운동 중재를 적용할 때 압력 바이오피드백과 초음파를 활용한 실시간 시각적 피드백을 각각 적용하여 복부근육 두께를 비교하고 이를 통해 정확한 배가로근의 수축 방법과 효율적인 운동 방법을 알아 보고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 연구에 대한 설명 후, 연구의 목적과 과정에 대한 충분한 이해와 함께 자발적인 참여 의사를 밝히고 동의서를 작성한 20대 정상 성인 20명을 대상으로 실시하였다. 연구진행 중 신체의 불편이나 통증이 발생할 경우 대상자들의 자발적 의사에 의해 중단할 수 있는 부분도 설명하였다.

연구대상의 구체적인 선정기준은 20대 남성, 최근 6개월 동안 근골계통 관련 통증이나 질환이 없으며 정기적인 운동을 하지 않은 자로 하였다. 제외기준은 최근 6개월 이내 허리 수술의 병력이 있는 자, 척추 질환을 진단받은 자 (추간판탈출증, 척추관협착증, 척추분리증, 척추전방전위증, 척추이분증 등), 척추 골절 또는 감염을 진단받은 자, BMI가 30 kg/m² 이상인 자로 하였다.

이 연구는 부산가톨릭대학교 연구윤리위원회의 승인을 받아 진행하였다 (CUPIRB-2019-068).

2. 측정도구

1) 초음파진단장치

할로잉 운동을 수행하는 동안 배속빔근과 배가로근의

수축을 확인하고 두께를 측정하기 위해 실시간 초음파 진단장치 (dual-MicrUs EXT; Teled, Vilnius, Lithuania) 를 사용하였고, 실시간 초음파 영상을 통한 시각적인 피드백을 대상자에게 제공하여 자료를 수집하였다.

2) 압력생체되먹임기구

복부 할로잉 운동시 근육의 수축을 교육하기 위하여 압력생체되먹임기구 (Stabilizer, Chattanooga Group Inc., Hixson, USA) 를 사용하였다. 배가로근의 수축으로 인해 발생하는 근력은 압력생체되먹임기구에 가해지는 압력으로 나타난다. 단위는 mmHg를 사용하였다.

3. 측정방법

복부근 두께는 초음파진단장치 (dual-MicrUs EXT; Teled, Vilnius, Lithuania) 를 사용하였으며 B-모드에서 3.5MHz 직선형 탐촉자를 사용하여 배바깥빗근, 배속빗근, 배가로근 순서로 두께를 측정하였다. 대상자가 바로 누운 자세에서 배꼽을 기준으로 평행한 선을 그리고, 2.5cm 외측으로 이동한 위치에서 초음파 도자를 위치시키고, 초음파 영상에서 근육이 평행하게 위치하도록 도자를 천천히 움직이게 하였다. 중재 전과 후에 각각 할로잉 운동을 실시할 때 복부근이 수축하는 시점에서 측정하였다[12]. 복근의 두께는 상하 고반향성 근막 (superior and inferior hyperechoic muscle fascias) 사이의 거리로 측정하였다. 측정은 5년 이상의 경력을 가진 물리치료사가 진행하였으며 3회 측정하여 중간값을 사용하였다. (Fig. 1).

4. 중재방법

본 연구는 시각적 피드백 방법 중 압력바이오피드백 장치를 활용한 이용한 할로잉 운동과 실시간 초음파 이미지 피드백을 이용한 할로잉 운동 시 복근 (TrA, IO, EO) 의 두께의 변화를 비교하는 실험연구이다. 대상자들을 무작위로 두 그룹으로 나누어 A 그룹은 초음파 영상을 통해 실시간으로 시각적 피드백을 받으며 할로잉 운동을 실시하였다. B 그룹은 압력 생체 되먹임 장치를 사용하였으며 교육 시 두 그룹 모두 시각적 자극과 치료사의 구두 자극, 복부근육의 촉각 자극을 통해 피드백을 제공하였다.

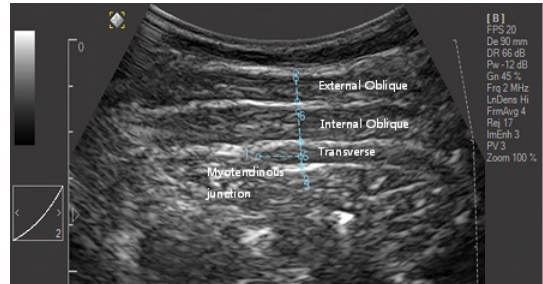


Fig. 1. Measurement of the abdominal muscle thickness.

훈련 시작 전, 모든 대상자들에게 할로잉 운동을 위해 척추, 갈비뼈, 골반의 움직임 없이 배꼽을 천천히 부드럽게 안으로 넣으면서 위쪽으로 올리고 자연스러운 호흡을 하도록 물리치료사의 구두 및 촉각 지시를 통해 교육하였다[7, 10].

두 그룹 모두 2주간 1회 20분씩 일주일 3회 같은 훈련을 실시하였다.

1) 실시간 초음파 이미지 피드백을 활용한 복부 할로잉 운동(AHE with visual feedback using real-time ultrasound image; Group A)

시각적 피드백을 이용한 배가로근의 선택적 수축을 위해 실시간 초음파진단장치를 사용하여 배가로근을 정확하게 수축할 수 있도록 대상자가 직접 눈으로 피드백 영상을 모니터링 하면서 배가로근의 수축을 확인하게 교육하였다. 연구자는 정확한 배가로근의 움직임이 일어날 수 있도록 영상의 배가로근을 설명하여 대상자가 선택적 수축을 일으킬 수 있도록 교육하였다.

2) 압력바이오피드백장치를 활용한 복부 할로잉 운동 (AHE with visual feedback using pressure biofeedback unit; Group B)

복부 할로잉 동작은 대상자용 없이 배가로근의 선택적 수축이 일어날 수 있도록 압력생체되먹임기구를 이용하여 실시하였다. 복부 할로잉을 수행하는 동안 압력생체되먹임기구를 대상자의 허리위와 지면 사이에 위치시켜 압력계 눈금을 40 mmHg로 유지하도록 요구하였으며 치료사의 구두 지시로는 척추, 갈비뼈, 골반의 움직임 없이 배꼽을 바닥 쪽으로 천천히 내리도록 지시하였

Table 1. General Characteristics of the Subjects

variables	Group A (n = 10)	Group B (n = 10)	p
age (years)	23.12 ± 3.12	22.84 ± 3.01	.871
weight (kg)	70.85 ± 10.21	65.47 ± 12.86	.473
height (cm)	175.65 ± 2.32	171.21 ± 2.85	.414

Group A: AHE with visual feedback using a real-time ultrasound image

Group B: AHE with visual feedback using a pressure biofeedback unit

Table 2. Comparison of Thickness Abdominal Muscles between AHE and Feedback AHE on Pre-post Side

Muscle	Group	Pre	Post	within groups		between groups	
				t	p	t	p
EO	Group A	5.64 ± 1.30	6.46 ± 1.71	2.201	.038*	.618	.544
	Group B	5.09 ± .84	5.86 ± .96	1.802	.071		
IO	Group A	6.97 ± 1.12	8.84 ± 2.31	2.815	.013*	1.713	.095
	Group B	8.00 ± 1.79	8.67 ± 2.16	1.489	.143		
TrA	Group A	4.18 ± .89	5.34 ± 1.05	2.817	.014*	1.947	.051
	Group B	4.17 ± 1.13	4.93 ± 1.14	2.715	.017*		

Unit: mm, *: p < .05

EO: external oblique muscle

IO: internal oblique muscle

TrA: transvers abdominis

Group A: AHE with visual feedback using a real-time ultrasound image

Group B: AHE with visual feedback using a pressure biofeedback unit

다. 이때 대상자는 압력생체피드백기구에 연결되어 있는 압력계를 보고 40 mmHg상태를 10초간 유지 후 10초간 휴식을 취하며 반복적으로 20분간 실시하였다.

5. 통계 방법

연구를 통해 얻어진 데이터는 SPSS for Windows ver 21.0을 사용하여 분석하였고 모든 데이터 표기는 평균과 표준 편차를 사용하였다. 정규성을 만족하여 집단간 차이는 독립표본 t검정 (independent t-test) 을 사용하였고, 중재전과 중재후의 차이는 대응표본 t검정 (paired t-test) 을 사용하였다. 통계적 유의 수준 (α) 은 .05로 설정하였다.

III. 연구결과

1. 연구대상자의 일반적 특성

연구대상자의 일반적 특성은 표 1과 같다(Table 1).

2. 중재 전후에 따른 근 두께 비교

중재 전후에 따른 근 두께 비교는 다음과 같다(Table 2). 실시간 초음파 피드백을 활용한 AHE군에서는 배바깥근 (EO), 배속빗근 (IO), 배가로근 (TrA) 두께가 각각 중재 전 5.64 ± 1.30 mm에서 6.46 ± 1.71 mm 로, 6.97 ± 1.12 mm에서 8.84 ± 2.31 mm로, 4.18 ± .89 mm에서 5.34 ± 1.05 mm로 증가하였으며 중재 전후 유의한 차이가 있었다(p < .05).

압력바이오피드백을 활용한 AHE그룹의 배바깥

근 (EO)과 배속빚근 (IO)은 각각 5.09 ± 1.84 mm에서 $5.86 \pm .96$ mm, 8.00 ± 1.79 mm에서 8.67 ± 2.16 mm로 증가하였으나 중재 전후 유의한 차이는 없었다($p > .05$). 배가로근 (TrA) 은 4.17 ± 1.13 mm에서 4.93 ± 1.14 mm로 증가하였고 중재 전 후 유의한 차이가 있었다($p < .05$).

3. 중재 후 집단간 근 두께 비교

중재 후 근육 두께에 대한 집단간 비교에서는 배바깥빚근 (EO), 배속빚근 (IO), 배가로근 (TrA) 모두 유의한 차이가 없었다($p > .05$).

IV. 고 찰

복부 안으로 당기기 방법 (abdominal draw-in maneuver; ADIM) 으로 알려진 복부 할로잉 운동(abdominal hollowing exercise; AHE) 은 선택적으로 배가로근의 활동을 촉진시킬 수 있고[16,17]. 요통환자의 통증 경감에도 효과적이다[18]. 그리고 AHE는 일반적인 안정화 운동보다 배가로근의 단면적을 개선하는데 더 좋은 결과를 보였다 [19]. 그러므로 AHE는 요통 환자들의 재활 초기에 배가로근의 기능을 개선하고 통증을 경감시키는데 효과적인 운동이다.

복부 할로잉 운동을 교육하고 습득하는데 발생할 수 있는 어려움을 해결하기 위해서 시각적 피드백을 줄 수 있는 방법으로 압력되먹임 장치와 실시간 초음파 영상을 가장 흔히 추천하고 있다[5]. 그러나 Lima 등 (2007) [11]은 압력되먹임장치를 사용한 배가로근 수축을 평가한 1990년부터 2009년까지의 연구들에 대한 체계적 고찰을 통해 현재까지의 연구들이 지나치게 낙관적이며, 배가로근 활성도의 측정을 위해 압력되먹임장치를 사용하는 것은 재현성과 타당성에 대한 근거가 제한적이라고 하였다. 이에 비해 초음파 영상은 근육 수축에 대한 정확한 피드백을 제공함으로써 운동의 질적 향상을 높이는데 기여하고 있으며[1] 체계적 고찰을 통해 살펴본 RUSI 프로토콜의 체간근육 측정 방법은 중등도에서 우수한 신뢰도를 보여주고 있다[20].

그러므로 본 연구에서는 바 침습적인 초음파 영상의 다양한 이점을 바탕으로 시각적인 피드백인 실시간 초

음파 영상을 이용한 교육 훈련이 복부 할로잉 운동 수행에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 본 연구에서 중재 전후의 배가로근 두께 차이를 비교해 보면 압력바이오피드백장치를 활용한 복부 할로잉 운동을 적용한 B 그룹은 배가로근 두께가 4.17 ± 1.13 mm에서 4.93 ± 1.14 mm으로 증가하였으며 실시간 초음파 이미지 피드백을 활용한 복부 할로잉 운동을 적용한 A 그룹은 $4.18 \pm .89$ mm에서 5.34 ± 1.05 mm로 증가하여 두 그룹 모두 유의하게 증가하였으나 그룹간 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

그러나 Takasaki 와 Kawazoe (2020) [21]은 할로잉 운동시 초음파를 통한 배가로근 두께에 대한 신뢰도 연구에서 배가로근의 최소 감지 변화 (minimum detectable change, MDC) 값을 20% 이상이라고 하였다. 본 연구에서 운동 후 배가로근 두께 증가에서 두 그룹간 통계적 유의한 차이는 없었으나 실시간 초음파 이미지 피드백을 활용한 A 그룹에서 운동 전과 후에 배가로근 두께가 20% 이상의 차이를 나타내어 임상적 의미가 있다고 볼 수 있다.

A 그룹에서 운동 전후, 배바깥빚근과 배속빚근의 두께는 유의한 차이를 보였고($p < .05$), B 그룹에서 운동 후 배바깥빚근과 배속빚근의 두께는 증가하였지만 유의한 차이는 보이지 않았다($p > .05$). Mew (2009)의 연구 [22]를 살펴보면, 누운 자세에서 복부 할로잉 운동을 수행하는 동안 배속빚근의 두께가 휴식 상태에 비해 약 16.3%로 증가하였으며, 다른 선행 연구들[5, 23-25]도 복부 할로잉 운동을 수행하는 동안 배속빚근의 두께가 약 10~20% 증가하였다고 보고하였다. 이는 배속빚근의 하부 섬유가 위앞엉덩뼈가시의 아래에서 배가로근과 함께 주행하여 복부 할로잉 운동 같은 몸통 안정화 운동을 수행하는 동안 각 근육의 기능적인 활동이 부분적으로 겹쳐[26] 배가로근의 활동이 배속빚근의 활동에도 영향을 주었기 때문이라 보여진다. 본 연구에서도 A 그룹의 배속빚근이 운동전 6.97 ± 1.12 mm에서 운동 후 8.84 ± 2.31 mm로 약 20% 이상 증가하여 동일한 영향이 있었던 것으로 생각된다.

본 연구는 건강한 20대 남성 성인에게 2주간 복부 할로잉 운동을 적용하여 변화를 살펴본 것으로 연구기간이 비교적 짧다는 제한점이 있다. 그러나 Hervert 등

(2008)의 연구[26]에서도 실시간 초음파 영상을 적용한 모든 그룹들이 단기간의 운동 학습 능력이 개선되었음을 보고하였다. 또한 이 연구의 대상자는 요통이 없는 정상인을 대상으로 진행하여 실시간 초음파 영상 피드백이 기술 습득을 향상시킬 수 있다는 것을 보여주었었다. 향후에는 요통이 있는 환자를 대상으로 실시간 초음파 이미지 피드백을 활용한 복부 할로잉 운동을 실시하여 그 효과를 알아볼 필요가 있을 것이다.

V. 결론

압력바이오피드백 장치와 실시간 초음파 이미지 피드백 등 시각적 피드백을 활용한 복부 할로잉 운동은 배가로근의 수축에 긍정적인 효과가 있었으며, 특히 실시간 초음파이미지를 활용한 경우 더욱 효과적인 것으로 보여진다. 특히 압력바이오피드백 장치에 비해 배속빗근과 배가로근의 동시 수축에는 실시간 초음파 이미지 피드백의 활용이 더욱 효과가 있으므로 임상에서의 활용을 추천한다.

Acknowledgements

이 논문은 2020년도 부산가톨릭대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음.

References

- [1] Hodges PW. Core stability exercise in chronic low back pain. *Orthop Clin North Am.* 2003;34(2):245-54.
- [2] Akuthota V, Ferreiro A, Moore T, et al. Core stability exercise principles. *Curr Sports Med Rep.* 2008 Feb; 7(1):39-44.
- [3] Panjabi MM. Clinical spinal instability and low back pain. *J Electromyogr Kinesiol.* 2003 Aug;13(4):371-9.
- [4] Neumann P, Gill V. Pelvic floor and abdominal muscle interaction: EMG activity and intra-abdominal pressure. *Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct.* 2002;13(2): 125-32.
- [5] Hides J, Gilmore C, Stanton W, et al. Multifidus size and symmetry among chronic LBP and healthy asymptomatic subjects. *Man Ther.* 2008;13(1):43-9.
- [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.
- [7] Jull G, Richardson C, Toppenberg R, et al. Towards a measurement of active muscle control for lumbar stabilisation. *Aust J Physiother.* 1993;39(3):187-93.
- [8] Souza GM, Baker LL, Powers CM. Electromyographic activity of selected trunk muscles during dynamic spine stabilization exercises. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001; 82(11):1551-7.
- [9] Maffey-Ward L, Jull G, Wellington L. Toward a clinical test of lumbar spine kinesthesia. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1996;24(6):354-8.
- [10] C.A. Richardson, P.W. Hodges, J. Hides. *Therapeutic Exercises for Lumbopelvic Stabilization* (second ed.), Churchill Livingstone, Edinburgh, 2004.
- [11] de Paula Lima PO, de Oliveira RR, Costa LO. et al., Measurement properties of the pressure biofeedback unit in the evaluation of transversus abdominis muscle activity: a systematic review. *Physiotherapy.* 2011;97(2):100-6.
- [12] Cairns MC, Harrison K, Wright C. Pressure Biofeedback: A useful tool in the quantification of abdominal muscular dysfunction? *Physiotherapy.* 2000;86(3):127-38.
- [13] Whittaker JL, Thompson JA, Teyhen DS, et al. Rehabilitative ultrasound imaging of pelvic floor muscle function. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2007 Aug;37(8): 487-98.
- [14] Bunce SM, Hough AD, Moore AP. Measurement of abdominal muscle thickness using M-mode ultrasound imaging during functional activities. *Man Ther.* 2004; 9(1):41-4.
- [15] Norasteh A, Ebrahimi E, Salavati M, et al. Reliability of B-mode ultrasonography for abdominal muscles in asymptomatic and patients with acute low back pain.

- Journal of Bodywork and Movement Therapies. 2007;11(1):17-20.
- [16] 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.
- [17] 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):289-97.
- [18] Macedo LG, Maher CG, Latimer J, McAuley JH. Motor control exercise for persistent, nonspecific low back pain: a systematic review. *Phys Ther.* 2009;89(1):9-25.
- [19] Akuthota V, Nadler SF. Core strengthening. *Arch Phys Med Rehabil.* 2004;85(3 Suppl 1):S86-S92.
- [20] Prentice CLS, Milanese S, Massy-Westropp N, et al. The reliability of rehabilitative ultrasound to measure lateral abdominal muscle thickness: A systematic review and meta-analysis. *Musculoskeletal Science and Practice.* 2021;53:1023-57.
- [21] Takasaki H, Kawazoe S. Reliability of ultrasound measurement for isolated control of the transversus abdominis muscle during abdominal hollowing: A secondary analysis. *Journal of Electromyography and Kinesiology.* 2020;55:1024-76.
- [22] 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.
- [23] Richardson C, Hodges P. Local segmental control. In: Richardson CA, Hodges PW, Hides JA, editors. *Therapeutic exercises for lumbopelvic stabilisation. A motor control approach for the treatment and prevention of low back pain.* 2nd ed. Edinburgh: Churchill Livingstone; 2004.
- [24] Mannion AF, Pulkovski N, Toma V, Sprott H. Abdominal muscle size and symmetry at rest and during abdominal hollowing exercises in healthy control subjects. *J Anat.* 2008 Aug;213(2):173-82.
- [25] Manshadi FD, Parnianpour M, Sarrafzadeh J, et al. Abdominal hollowing and lateral abdominal wall muscles' activity in both healthy men & women: An ultrasonic assessment in supine and standing positions. *Journal of Bodywork and Movement Therapies.* 2011;15(1):108-13.
- [26] 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.