

펜싱선수의 외측복부벽 두께 및 비대칭에 대한 초음파 측정

안산시청 직장운동부¹, 백석대학교 물리치료과², 솔병원 스포츠의학과³박혜진¹ · 심재훈² · 정성대² · 나영무³

Sonographic Measurements of the Lateral Abdominal Wall Thickness and Asymmetry in Fencing Players

Hye Jin Park¹, Jae Hun Shim², Sung Dae Choung², Young Moo Na³¹Works Team of Ansan City Hall, Ansan City Hall, Ansan, ²Department of Physical Therapy, Baekseok University, Cheonan,³Department of Rehabilitation Medicine, Sol Hospital, Seoul, Korea

The purpose of this study is to compare the side-to-side thickness and asymmetry in the lateral abdominal (LAM) wall muscle group between fencing players and matched controls. Twenty fencing players (10 males and 10 females) and 20 matched controls participated in this study. The resting thicknesses of the transversus abdominis (TrA), internal oblique (IO), and external oblique (EO) of the LAM on both sides of the abdominal wall were measured in each group using 7.5 MHz linear array ultrasonography. Statistical analysis showed that the asymmetry of the fencers was 15% TrA, 13% IO, and 15% EO, whereas the control group showed 5% TrA, 5% IO, and 6% EO. The LAM was more asymmetric in the fencers than in the controls ($p < 0.05$). The thickness of the right TrA was 0.37 cm in the controls, which was significantly greater than the 0.29 cm thickness in the fencers ($p < 0.05$). The thicknesses of the left TrA and both IO and EO did not differ significantly between fencers and controls ($p > 0.05$). The thickness of the TrA, IO, and EO of the side-to-side LAM wall was more asymmetric in the fencers than in the controls. This suggests that clinicians may find benefits in providing scientific baseline data on muscle asymmetry when treating and managing fencing athletes.

Keywords: Fencing, Ultrasonography, Lateral abdominal wall, Asymmetric

서론

외측복부벽(lateral abdominal wall)은 배가로근(transversus abdominis), 속배빗근(internal oblique), 바깥배빗근(external oblique)으로 구성되며, 배가로근과 속배빗근의 후방부분(posterior part)은 기능적 활동 시 척추의 안정성에 중요한 역할을 하는 심부 근육이다¹⁾. 또한 배가로근, 속배빗근, 바깥배빗근, 근육은 결합하여 체간 지지(support of trunk)에 필요한 안정성과 지구력을 제공한다²⁾. 체간을 이루는 근육들에 불균형이 발생하면 체간의 비대칭 수축패턴과 과제를 수행하는 동안 비정상적인 자세 전략을 사용하며, 몸의 중심이동으로

Received: October 25, 2016 Revised: December 8, 2016

Accepted: February 2, 2017

Correspondence: Hye Jin Park

Works Team of Ansan City Hall, Ansan City Hall, 387

Hwarang-ro, Danwon-gu, Ansan 15335, Korea

Tel: +82-31-481-2109, Fax: +82-31-481-3239

E-mail: qkrpwlsl6@naver.com

Copyright ©2017 The Korean Society of Sports Medicine

© This is an Open Access article distributed 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.

인하여 체간의 안정성이 감소한다. 결국, 체간의 비대칭 수축은 불균형과 활동 저하를 발생한다^{3,4)}. 요통, 골반통증 및 엉치 엉덩관절 기능장애(sacroiliac joint dysfunction)를 갖고 있는 환자들은 체간의 근육 두께에 비대칭을 보이며^{5,6)}, 이와 관련된 통증은 체간 근육의 활동을 지연시킨다⁷⁾.

복부 근육의 활성화를 평가하기 위해 연구자들은 여러 측정 도구를 사용해 왔다. 특히 초음파는 근육의 구조, 기능, 활성화를 평가하기 위해 안전하고 경제적이며 효율적인 방법이며, 복부 근육에 직접 접촉해 실시간으로 시각화하여 평가할 수 있다. 또한 초음파 영상을 통해 심부 근육의 두께 변화를 측정하고, 근육의 자발적 또는 자동적 활동의 지표로도 활용할 수 있다. 그리고 초음파로 측정된 근육의 두께는 근전도(electromyography) 활동 또는 자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI)과 높은 상관관계가 있다^{8,9)}.

이전 연구자들은 초음파를 이용하여 다양한 스포츠 선수들에게 나타나는 체간 근육들의 특징을 확인하였다. 양측운동인 역도선수는 체간의 안정성을 위해 외측복부벽의 대칭과 속배 빗근의 비대(hypertrophy)가 중요하다고 제시하였다¹⁰⁾. 반면 편측운동인 농구선수는 외부 요인에 대한 생리적 적응으로 외측복부벽의 비대칭이 발생하였으며¹¹⁾, 테니스 선수는 편심성 수축으로 인해 좌·우 배곧은근(rectus abdominalis) 두께에 차이가 나타났다¹²⁾.

위와 같이 양측 운동선수와는 달리 편측(unilateral) 형태의 운동선수들은 반복된 움직임으로 인해 체간을 이루는 복부 근육에 좌·우 불균형이 발생하며, 이러한 불균형은 체간의 비대칭 수축 또는 근육의 염좌, 요통, 운동상해 및 경기력 저하와 관련되어 있다^{3,12-14)}. 펜싱은 한 손에 검을 쥐고, 비대칭적인 자세로 훈련하는 편측 운동으로 앞다리와 뒷다리의 다른 역할로 인해 두 다리의 근력 불균형이 발생하며¹⁵⁾, 이러한 변화는 복부 근육에서도 나타날 수 있다. 그러나 펜싱 선수에 대한 대부분의 연구들은 상지와 하지에 집중되어 있고¹⁵⁻¹⁸⁾, 체간의 중심을 이루는 복부 근육에 대한 연구는 충분히 이루어지지 않은 측면이 있다.

그러므로, 본 연구는 초음파 장비를 이용해 펜싱선수들의 좌·우 외측복부벽 근육 두께를 비교하여 복부 근육들의 비대칭적 변화를 알아보고자 시행하였다.

연구 방법

1. 연구 대상

본 연구 대상자의 선정기준은 다음과 같다. 2016년 A시 실업팀, D 대학교, S 고등학교에 소속된 20명의 펜싱선수(남자 10명, 여자 10명)와 천안소재 B 대학의 재학생 중 무작위 선정을 통한 20명(남자 10명, 여자 10명)으로, 본 연구에 동의한 펜싱 선수와 일반 대학생을 각각 20명씩 총 40명을 선정하였다. 실험군인 펜싱선수의 평균 연령은 21세(범위, 17-29세; standard deviation [SD], ± 3.2 세)이며 고등학교선수 3명, 대학선수 9명, 실업선수 8명이다. 펜싱을 시작한 기간은 평균 8.3년(범위, 5-15년; SD, ± 2.6 년)이며, 세부종목은 사브르(sabre) 14명, 에페(epee) 6명이다. 운동 경력은 5년 이상, 주 35시간 정도의 펜싱 훈련에 참여 하였다(Table 1). 반면 대조군의 평균 연령은 21세(범위, 19-25세; SD, ± 1.7 세)이며, 주 10시간 정도 이상의 개인 운동 및 신체활동을 하였다. 신경근계, 근골격계, 심혈관계 질환이나, 내·외과적 수술, 최근 3개월 동안 허리 통증이 있는 대상자는 제외하였다. 본 연구는 백석대학교 기관생명윤리위원회의 심의를 통과 후 진행 되었다(No. BUIRB-201511-HR-023).

2. 초음파 측정 방법

초음파 기기는 LOGIQ e (GE Inc, Boston, MA, USA)를 이용하였고, 7.5 MHz의 선형 변환기를 이용하여 B모드로 설정하였다. 초음파 측정은 스포츠 선수에 대한 수년 이상의 임상 경험과 초음파를 사용해 온 전문의 감독하에 숙련된 1인이 시행하고, 측정된 양측의 외측 복부는 측정 오차를 줄이기 위해 초음

Table 1. Demographic characteristics of subjects

Characteristics	Fencing group (n=20)	Control group (n=20)
Age (yr)	21.5 \pm 3.1	21.1 \pm 1.7
Height (cm)	173 \pm 9.1	168.8 \pm 9.1
Weight (kg)	68.3 \pm 10.5	59.2 \pm 10.8
Training history (yr)	8.3 \pm 2.6	-
Athlete grade		
High school	3	-
Collegiate	9	-
Professional	8	-
Dominate (right : left)	19 : 1	20 : 0
Position (sabre : epee)	14 : 6	-

Values are presented as mean \pm standard deviation.

파 화면상에서 3회 측정하여 평균값을 사용하였다. 그리고 측정간 휴식 기간은 2-3분으로 하였다.

배가로근, 속배빗근, 바깥배빗근을 포함한 외측복부벽의 두께를 측정하고, 동일한 위치에서 좌·우 양측을 각각 측정하였다. 측정자의 주관적인 영향을 배제하기 위해 측정자와 기록자를 다르게 하였으며, 측정 시 실험 대상자들은 모니터를 통한 시각적 바이오피드백(biofeedback)을 받지 못하도록 하고 측정자만 모니터를 확인할 수 있도록 하였다. 측정 자세는 대상자가 누운 자세(crook lying)에서 무릎을 굽히고(knee flexion) 무릎 아래와 머리에 베개를 두었으며 복부에 힘을 뺀 안정 시 상태를 측정하였다¹⁹⁾. 초음파 측정은 좌·우 양측 동일한 부위에 엉덩이뼈 능선(ilic crest)과 갈비뼈 하각(inferior rib) 사이인 복부 앞 겨드랑이선(anterior axillary line)에 변환기를 수직으로 세운 후 외측복부근육들이 선명하게 나타날 때까지 조정하였다(Fig. 1). 근육 영상의 두께는 호기를 마친 시점의 영상으로 측정하였다²⁰⁾.

3. 자료의 분석과 통계

펜싱선수와 대조군 그룹 간에 좌·우 배가로근, 속배빗근, 바깥배빗근의 두께 및 비대칭을 비교하기 위해 정규화 분포 Kolmogorov-Smirnov test를 시행 하였으며, 그룹 간의 비교는 독립 t 검정(Independent t-test)을 이용하여 분석하였다. 근육의 비대칭 정도는 Adamczy 등¹¹⁾이 제시한 $\left[\frac{(Rt - Lt)}{(1/2)(Rt + Lt)} \times 100\% \right]$ 수식에 따라 계산하였고, 값이 클수록 좌·우 큰 비대칭을 나타낸다. 오른쪽은 Rt, 왼쪽은 Lt로 표기 하였다. 통계학적 분석은 SPSS ver. 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였고, 유의 수준은 p값이 0.05 미만일 때 통계학적 의의가 있는 것으로 판단하였다.

결 과

좌·우 외측복부벽을 측정한 펜싱선수(남자 10명, 여자 10명)와 대조군(남자 10명, 여자 10명) 사이의 배가로근의 비대칭은 펜싱선수 15.80%±12.15%, 대조군 5.81%±2.36%으로 펜싱

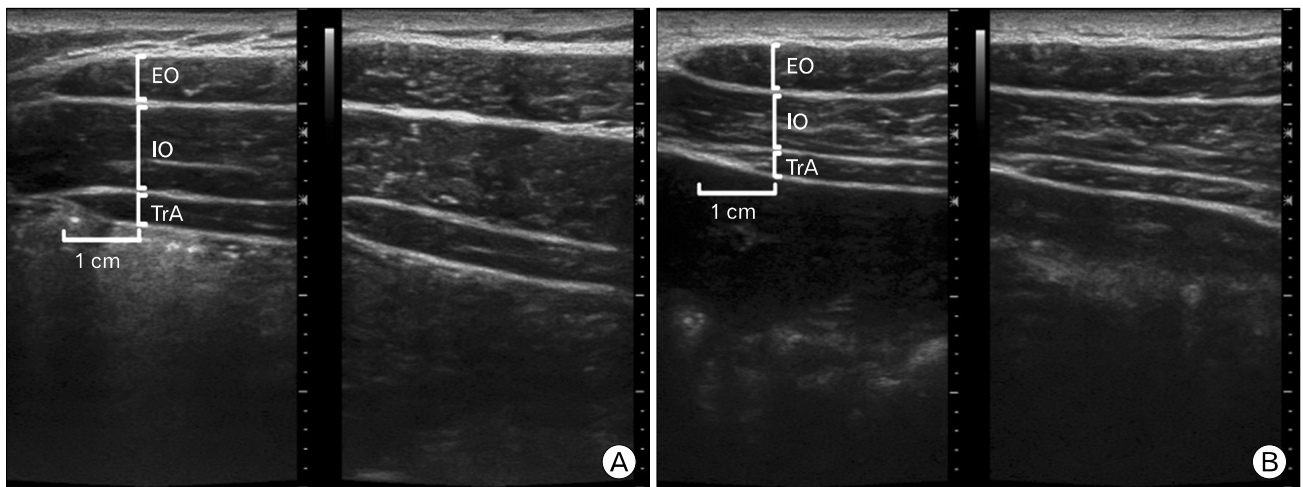


Fig. 1. Ultrasound imaging of the lateral abdominal wall muscles taken during the resting state. (A) Fencing group, (B) control group. EO: external oblique, IO: internal oblique, TrA: transversus abdominis.

Table 2. Comparison of the asymmetry of the lateral abdominal muscle between the fencing and matched control groups

Asymmetric	Fencing group (n=20)	Control group (n=20)	t-value	p-value
TrA (%)	15.80±12.15	5.81±2.36	3.61	0.002*
IO (%)	13.07±11.24	5.77±3.90	2.74	0.011*
EO (%)	15.40±14.21	6.48±3.27	2.73	0.012*

Values are presented as mean±standard deviation.

TrA: transversus abdominis, IO: internal oblique, EO: external oblique.

*Statistically significant difference ($p < 0.05$) between fencing and control groups.

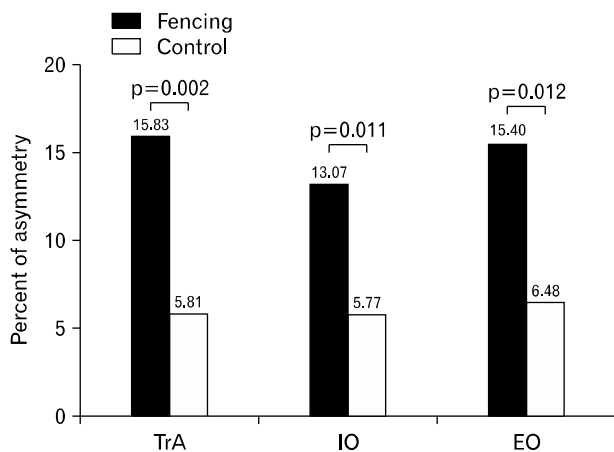


Fig. 2. Differences between the fencing and control groups in the percent of asymmetry in muscle thickness of the lateral abdominal wall. TrA: transversus abdominis, IO: internal oblique, EO: external oblique.

Table 3. Comparison of the lateral abdominal muscle thickness between the fencing and matched control groups

Thickness	Fencing group (n=20)	Control group (n=20)	p-value
Right TrA (cm)	0.29±0.85	0.37±0.84	0.006*
Left TrA (cm)	0.32±0.07	0.36±0.08	0.073
Right IO (cm)	0.88±0.20	0.83±0.19	0.453
Left IO (cm)	0.85±0.17	0.83±0.18	0.686
Right EO (cm)	0.69±0.12	0.69±0.22	0.972
Left EO (cm)	0.71±0.14	0.69±0.22	0.626

Values are presented as mean±standard deviation.

TrA: transversus abdominis, IO: internal oblique, EO: external oblique.

*Statistically significant difference ($p < 0.05$) between fencing and control groups.

선수에서 더 비대칭적으로 측정되었고($p=0.002$), 속배빗근의 비대칭은 펜싱선수 $13.07\% \pm 11.24\%$, 대조군 $5.77\% \pm 3.90\%$ 으로 펜싱선수에서 더 비대칭적으로 측정되었다($p=0.011$). 바깥배빗근에서도 비대칭은 펜싱선수 $15.40\% \pm 14.21\%$, 대조군 $6.48\% \pm 3.27\%$ 으로 펜싱선수 군에서 더 비대칭적으로 측정되었으며($p=0.012$), 이 두 군 간의 차이는 통계학적으로 의의가 있었다 (Table 2, Fig. 2).

두 군의 근육 두께는 오른쪽 배가로근에서 펜싱선수 0.29 ± 0.85 cm, 대조군 0.37 ± 0.84 cm로 통계학적으로 유의하였다($p=0.006$). 하지만, 왼쪽 배가로근에서는 펜싱선수 0.32 ± 0.07 cm, 대조군 0.36 ± 0.08 cm로 두 군 간의 통계학적 유의한 차이는 없었다($p=0.073$). 오른쪽 속배빗근에서 펜싱선수 0.88 ± 0.20 cm, 대조군 0.83 ± 0.19 cm로 두 군 간의 통계학적 유의한 차이는

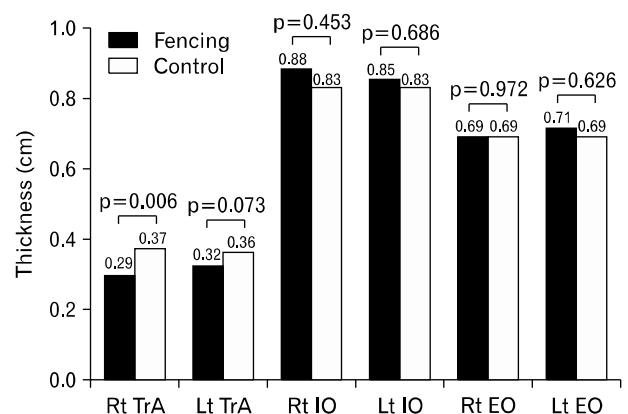


Fig. 3. Lateral abdominal wall thickness in fencing and control group. Rt: right, TrA: transversus abdominis, Lt: left, IO: internal oblique, EO: external oblique.

나타나지 않았고($p=0.453$), 왼쪽 속배빗근에서도 펜싱선수 0.85 ± 0.17 cm, 대조군 0.83 ± 0.18 cm로 두 군 간의 통계학적 유의한 차이는 없었다($p=0.686$). 또한 오른쪽 바깥배빗근은 펜싱선수 0.69 ± 0.12 cm, 대조군 0.69 ± 0.22 cm로 두 군 간의 통계학적 유의한 차이가 없었고($p=0.972$), 왼쪽 바깥배빗근에서도 펜싱선수 0.71 ± 0.14 cm, 대조군 0.69 ± 0.22 cm로 역시 통계학적 유의한 차이가 없었다($p=0.626$) (Table 3, Fig. 3).

고 찰

본 연구는 20명의 펜싱선수와 동일 연령대의 일반인 20명의 대조군을 대상으로 배가로근, 속배빗근, 바깥배빗근의 두께와 비대칭을 비교한 결과 펜싱선수가 대조군에 비해 모든 근육들의 좌·우 두께 비대칭에서 유의한 차이가 나타났다. 또한 각각 근육의 두께를 비교하였을 때 펜싱선수가 대조군보다 오른쪽 배가로근에서 유의하게 적었다. 하지만 이외 모든 근육에서 유의한 차이는 보이지 않았다. 이는 펜싱선수와 대조군 사이에 오른쪽 배가로근을 제외한 근육들의 두께에는 차이는 없으나, 근육 두께의 비대칭에는 유의한 차이가 있음을 보여준다.

편측 팔의 움직임 동안 피드포워드(feedforward) 활동으로 체간의 자세조절 근육들은 비틀림 움직임에 대한 에너지 전달을 위해 특정 대각선 패턴을 갖게 되어, 운동 방향성에 따라 비대칭적으로 활성화된다^{21,22)}. 편측 운동인 테니스의 생체역학(biomechanics)에서 체간은 하지의 동력 전달과 체간의 빠른 회전력을 통해 상지에 최대 힘을 적용하여 팔과 라켓으로 힘의 적용 전달을 활성화한다²³⁾. 또한 체간의 회전과 한쪽 방향으로 반복되는 스트레치-단축 움직임이 우세하게 수행되어 체간 근육에 비대칭을 야기할 수 있다²⁴⁾.

검을 이용하는 펜싱에서도 비슷한 양상의 움직임이 발생한다. 펜싱 움직임의 시작은 앞다리 발목의 앞정강근(tibialis anterior)의 활성화부터 뒷다리의 가속이 체간을 통해 상지에 전달되어 빠른 찌르기 공격을 수행한다^{15,16)}. 또한 펜싱의 비대칭적인 편측 움직임은 두 다리의 기능적 비대칭 활동과¹⁶⁾ 상지와 하지의 좌·우 근육에 불균형을 초래한다^{25,27)}. 따라서 편측 움직임과 근육의 불균형은 본 연구의 외측복부벽을 이루는 근육에도 영향을 미쳤을 것으로 생각한다.

여러 스포츠선수들의 체간을 이루는 근육 비대칭은 각 운동의 특성에 따라 나타나게 되는데, Sanchis-Moysi 등¹³⁾은 테니스 선수들에서 배곧은근의 부피(volume)를 측정한 결과 일반인보다 58% 더 크고, 비우세 쪽이 더 크다고 보고하였다. 또한 Hides 등¹⁴⁾은 MRI를 이용해 크리켓(cricket) 선수들의 체간을 이루는 근육에서 우세손(dominant arm) 쪽의 근육이 더 크고 비대칭인 것으로 관찰 되었고, Adamczyk 등¹¹⁾은 프로 농구선수들에서 외측복부벽 두께의 비대칭을 정적인 자세에서 초음파로 측정한 결과 배가로근, 속배빗근, 바깥배빗근에서 각 근육의 두께 비대칭이 9% 이상으로 나타났다.

본 연구에 참여한 펜싱선수들 역시 외측복부벽의 두께 비대칭이 배가로근 15%, 속배빗근 13%, 바깥배빗근 15%로 확인되었다. 이러한 비대칭은 펜싱선수들의 근골격계 특징과 관련하여 해석할 수 있다. 펜싱선수들의 상지와 하지에서 우세쪽 근육이 비우세쪽 근육보다 더 큰 단면적(cross-sectional area)을 제시하였고^{25,27)}, 두 다리 사이에서 대퇴사두근(quadriceps)의 type I 섬유(fibers) 비율이 비대칭적인 결과를 보고하였다²⁸⁾. 이러한 특징은 비대칭적인 자세로 반복적인 편측 움직임이 펜싱선수들의 근육에 비대칭적 활동을 야기시켰고, 펜싱 기술과 생리학적 특징들이 외측복부벽 두께에 비대칭적 차이를 유발한 것으로 보인다. 비록 편측을 이용하는 운동의 경우 다수의 비대칭이 발견되나, 이것이 모두 병적 상태(pathologic condition)를 의미하는 것으로 보기에는 다소 무리가 있다. 하지만 반복적인 편측 운동을 시행할 때 나타날 수 있는 근골격계의 변화와 이와 관련된 부상에 대한 메커니즘을 이해할 수 있다. 또한 추후 선수들의 부상을 예방하는 고려사항에도움이 될 것이라 판단된다.

일반적으로 운동선수들은 일반인보다 근육이 더 두껍다고 알려져 있으나^{10,13)}, 본 연구에서는 펜싱선수의 오른쪽 배가로근의 두께가 일반인보다 더 얇게 나타났다. 이는 팔의 비대칭 움직임에 대한 배가로근의 대각선 패턴의 활성화가^{21,22)} 본 연구의 결과에 영향을 미친 것으로 보인다. 연구에 참여한 대부분의 펜싱선수가 오른쪽 손으로 검을 사용하기 때문에

대각선 패턴으로 왼쪽 배가로근에 활성화가 야기된다. 하지만 상대적으로 오른쪽 배가로근의 활성화 감소가 본 연구의 근육 두께에 영향을 미친 것으로 생각한다. 그 외 근육에서는 펜싱 선수와 일반인 두 군에서 측정한 결과 근육 두께의 차이가 나타나지 않았다. 이러한 결과의 차이는 대조군의 선택에 있어 개인적 신체활동에 대한 통제가 이루어지지 않아, 동일 신체 조건에서 비교가 필요했던 것으로 생각되며, 기존 연구의 운동 특성 또는 대상자의 훈련 기간, 보강 운동 프로그램 등과 관련되어 추가적인 추적연구가 필요할 것으로 생각한다.

연구자들은 근육의 비대칭 발달과 손상 사이에 연관성을 제안하였는데, 허리 통증을 호소하는 선수들은 통증이 없는 선수보다 체간의 근육 비대칭이 더 크고, 복부벽과 배가로근의 독립적인 수축능력 감소를 보고하였다¹⁴⁾. 또한 선수들의 체간 근육 비대칭과 크기의 감소는 허리척추원반 변형(lumbar intervertebral disc degeneration)과 관련되고²⁹⁾, 배곧은근의 비대칭적 근육 두께는 편심성 수축으로 인한 근육의 피로와 연관되어 근육 염좌와 허리 손상 위험을 제시하였다¹²⁾. 펜싱선수에서도 지속적인 비대칭적 자세와 근육의 불균형은 넙다리뒤근육(hamstring muscles)의 주된 손상 원인이라고 하였다¹⁸⁾. 또한 일반적으로 선수들의 양측 힘의 15% 이상의 차이는 비대칭의 임상적 지표와 부상의 요인으로 사용하는데³⁰⁾, 본 연구에서 측정된 외측복부벽 근육의 두께 비대칭은 간접적으로 양측 근육들 간의 근력 차이를 의미할 수 있으며, 이는 선수들의 통증 발생 및 기능 저하를 통한 경기력 저하^{13,14,29)}와 같은 문제를 야기할 수 있을 것으로 생각한다.

본 연구의 제한점으로 첫째, 대조군의 신체활동에 대한 통제가 이루어지지 않았다. 둘째, 펜싱선수들의 우세쪽 근육 단면적이 더 크다고 알려졌음에도 불구하고, 사지의 우세쪽 근육과 체간 근육 사이의 상관관계에 대한 조사를 하지 못하였다. 셋째, 초음파 측정은 다소 주관적이고 이로 인해 편차가 나타날 수 있다. 따라서 검사 시 반복 횟수를 증가시키고, 측정자 내 신뢰도 검사를 통해 오차를 최소화하는 것이 필요하다. 또한 MRI와 근전도 검사 같은 측정도구와 함께 비교하여 좀 더 객관적인 자료가 요구된다. 그리고 추후 연구에서는 본 연구를 기반으로 체간 근육의 비대칭 원인과 손상 또는 운동능력 사이의 상관관계를 살펴보는 전향적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 펜싱선수의 좌·우 외측복부벽을 이루는 배가로근, 속배빗근, 바깥배빗근의 두께가 대조군보다 더 비대칭적인 것을 확인하였다. 이를 통해 근육 두께의 비대칭에 대한 과학적 기초 자료를 제공함으로써 펜싱선수들의 훈련

프로그램 및 관리에 도움이 될 수 있을 것으로 생각한다.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

- Richardson C, Jull G, Hodges P, Hides J. Therapeutic exercises for spinal segmental stabilization in low back pain: scientific basis and clinical approach. Edinburgh: Churchill Livingstone; 1999.
- Hodges PW, Gurfinkel VS, Brumagne S, Smith TC, Cordo PC. Coexistence of stability and mobility in postural control: evidence from postural compensation for respiration. *Exp Brain Res* 2002;144:293-302.
- Geiger RA, Allen JB, O'Keefe J, Hicks RR. Balance and mobility following stroke: effects of physical therapy interventions with and without biofeedback/forceplate training. *Phys Ther* 2001;81:995-1005.
- Dickstein R, Sheffi S, Ben Haim Z, Shabtai E, Markovici E. Activation of flexor and extensor trunk muscles in hemiparesis. *Am J Phys Med Rehabil* 2000;79:228-34.
- Richardson CA, Snijders CJ, Hides JA, Damen L, Pas MS, Storm J. The relation between the transversus abdominis muscles, sacroiliac joint mechanics, and low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)* 2002;27:399-405.
- Masse-Alarie H, Flamand VH, Moffet H, Schneider C. Corticomotor control of deep abdominal muscles in chronic low back pain and anticipatory postural adjustments. *Exp Brain Res* 2012;218:99-109.
- Joseph LH, Hussain RI, Naicker AS, Htwe O, Pirunsan U, Paungmali A. Pattern of changes in local and global muscle thickness among individuals with sacroiliac joint dysfunction. *Hong Kong Physiother J* 2015;33:28-33.
- Rankin G, Stokes M, Newham DJ. Abdominal muscle size and symmetry in normal subjects. *Muscle Nerve* 2006; 34:320-6.
- Tahan N, Khademi-Kalantari K, Mohseni-Bandpei MA, Mikaili S, Baghban AA, Jaberzadeh S. Measurement of superficial and deep abdominal muscle thickness: an ultrasonography study. *J Physiol Anthropol* 2016;35:17.
- Sitilertpisan P, Pirunsan U, Paungmali A, et al. Comparison of lateral abdominal muscle thickness between weightlifters and matched controls. *Phys Ther Sport* 2011;12:171-4.
- Adamczyk W, Bialy M, Stranc T. Asymmetry of lateral abdominal wall muscles in static and dynamic conditions: a preliminary study of professional basketball players. *Sports Sci* 2016;31:e15-18.
- Balius R, Pedret C, Galilea P, Idoate F, Ruiz-Cotorro A. Ultrasound assessment of asymmetric hypertrophy of the rectus abdominis muscle and prevalence of associated injury in professional tennis players. *Skeletal Radiol* 2012;41: 1575-81.
- Sanchis-Moysi J, Idoate F, Dorado C, Alayon S, Calbet JA. Large asymmetric hypertrophy of rectus abdominis muscle in professional tennis players. *PLoS One* 2010;5:e15858.
- Hides J, Stanton W, Freke M, Wilson S, McMahon S, Richardson C. MRI study of the size, symmetry and function of the trunk muscles among elite cricketers with and without low back pain. *Br J Sports Med* 2008;42:809-13.
- Guilhem G, Giroux C, Couturier A, Chollet D, Rabita G. Mechanical and muscular coordination patterns during a high-level fencing assault. *Med Sci Sports Exerc* 2014;46: 341-50.
- Frere J, Gopfert B, Nuesch C, et al. Kinematical and EMG-classifications of a fencing attack. *Int J Sports Med* 2011;32:28-34.
- Roi GS, Bianchedi D. The science of fencing: implications for performance and injury prevention. *Sports Med* 2008; 38:465-81.
- Turner A, James N, Dimitriou L, et al. Determinants of Olympic fencing performance and implications for strength and conditioning training. *J Strength Cond Res* 2014;28:3001-11.
- Stetts DM, Freund JE, Allison SC, Carpenter G. A rehabilitative ultrasound imaging investigation of lateral abdominal muscle thickness in healthy aging adults. *J Geriatr Phys Ther* 2009;32:60-6.
- Mannion AF, Pulkovski N, Gubler D, et al. Muscle thickness changes during abdominal hollowing: an assessment of between-day measurement error in controls and patients with chronic low back pain. *Eur Spine J* 2008;17:494-501.
- Davarian S, Maroufi N, Ebrahimi E, Parnianpour M, Farahmand F. Normal postural responses preceding shoulder flexion: co-activation or asymmetric activation of transverse abdominis? *J Back Musculoskelet Rehabil* 2014;27:545-51.
- Morris SL, Lay B, Allison GT. Transversus abdominis is part of a global not local muscle synergy during arm movement. *Hum Mov Sci* 2013;32:1176-85.
- Elliott B. Biomechanics and tennis. *Br J Sports Med* 2006; 40:392-6.
- Chow JW, Park SA, Tillman MD. Lower trunk kinematics

- and muscle activity during different types of tennis serves. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol* 2009;1:24.
25. Tsolaks C, Bogdanis GC, Vagenas G. Anthropometric profile and limb asymmetries in young male and female fencers. *J Hum Mov Stud* 2006;50:201-15.
26. Margonato V, Roi GS, Cerizza C, Galdabino GL. Maximal isometric force and muscle cross-sectional area of the forearm in fencers. *J Sports Sci* 1994;12:567-72.
27. Roi GS, Mognoni P. Lo spadista modello. *Rivista di cultura sportiva* 1987;6:50-7.
28. Nystrom J, Lindwall O, Ceci R, Harmenberg J, Svedenhag J, Ekblom B. Physiological and morphological characteristics of world class fencers. *Int J Sports Med* 1990;11:136-9.
29. Iwai K, Koyama K, Okada T, et al. Asymmetrical and smaller size of trunk muscles in combat sports athletes with lumbar intervertebral disc degeneration. *Springerplus* 2016;5:1474.
30. Impellizzeri FM, Rampinini E, Maffiuletti N, Marcora SM. A vertical jump force test for assessing bilateral strength asymmetry in athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:2044-50.