

6주간의 동적·정적 신경근 훈련 프로그램이 고등학교 태권도 선수들의 자세 안정성 조절에 미치는 영향

연세대학교 체육교육학과¹, 국제올림픽위원회 한국연구센터², 목원대학교 스포츠건강관리학과³,
경일대학교 스포츠재활의학과⁴, 연세대학교 미래융합연구원⁵

임형주^{1,2} · 정희성^{2,3} · 이인제^{2,4} · 전형규^{1,2} · 이세용^{1,2,5}

Effects of 6-Week Dynamic and Static Neuromuscular Training Program on Postural Stability Control of High School Taekwondo Athletes

Hyung Ju Lim^{1,2}, Heeseong Jeong^{2,3}, Inje Lee^{2,4}, Hyung Gyu Jeon^{1,2}, Sae Yong Lee^{1,2,5}

¹Department of Physical Education, Yonsei University, Seoul,

²International Olympic Committee Research Centre Korea, Seoul,

³Department of Sports and Health Management, Mokwon University, Daejeon,

⁴Department of Sports Rehabilitation Medicine, Kyungil University, Gyeongsan,

⁵Institute of Convergence Science, Yonsei University, Seoul, Korea

Purpose: This study aimed to compare a dynamic neuromuscular training program with a static neuromuscular training program for taekwondo players.

Methods: This study design was a randomized control trial. Three high school taekwondo teams (taekwondo neuromuscular training [TNT] group, 22; Get Set group, 17; and control group, 24) participated in the study. Get Set group performed a program focused on the static movement, and TNT group performed a program which was modified Get Set to dynamic movement. Control group maintained the existing taekwondo training without any intervention. The intervention group performed 15-minute training three times a week for 6 weeks. Dynamic Postural Stability Index (DPSI) and time-to-boundary test (TTB) tests were performed before and after 6 weeks of training.

Results: As a result of DPSI, an interaction effect was observed only in the anterior/posterior stability index of the dominant leg of the TNT and Get Set groups ($p < 0.05$). However, there was no difference between the TNT and the Get Set groups. As a result of TTB analysis, no statistical effect was observed in all variables of the dominant and non-dominant legs.

Conclusion: As a result of conducting 6-week dynamic and static neuromuscular training for taekwondo athletes, the effect of training was found in both the intervention group. However, differences in training effects between groups could not be proved. Therefore, it is necessary to clearly confirm the difference between the two training through long-term follow-up studies.

Keywords: Athletes, Neuromuscular, Stability, Postural balance

Received: December 1, 2022 Revised: March 9, 2023 Accepted: April 11, 2023

Correspondence: Sae Yong Lee

Department of Physical Education, Yonsei University, Sports Complex, 50 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul 03722, Korea

Tel: +82-2-2123-6189, Fax: +82-2-2123-8375, E-mail: sylee1@yonsei.ac.kr

Copyright ©2023 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.

서론

다른 스포츠에 비해 태권도는 높은 부상률을 보인다. 풋볼과 아이스하키 같은 타 접촉성 스포츠의 경우 1,000 선수 노출(athlete exposures, AE) 당 각각 35.9명, 16.2명의 부상이 보고된 반면, 태권도의 경우 79.3명의 부상이 보고되었다¹. 태권도의 부상 원인과 부상 부위에 대해 보고한 선행연구에 따르면, 상대방에게 공격을 가하거나 또는 상대방의 공격을 막아내는 접촉(contact) 과정에서 주로 부상이 나타났으며², 상지부상보다는 하지부상(발목염좌, 전방십자인대 손상)이 주요하였다³.

태권도 경기에서 부상은 접촉 기전에 의한 부상과 비접촉(non-contact) 기전에 의한 부상으로 분류할 수 있다. 접촉 기전의 부상은 상대방에게 공격을 가하거나 또는 공격을 당할 때 발생하는 신체적 접촉에 의한 부상 기전이고, 비접촉(non-contact) 기전의 부상은 스텝 이동 또는 착지 동작 등 상대방과의 접촉 없이 발생하는 부상 기전을 뜻한다. 접촉 기전의 부상을 예방하기 위해서는 충격을 완화하기 위한 보호 장비에 의존할 수밖에 없으나, 비접촉 기전의 부상은 개인의 신경근 조절(neuromuscular control) 능력을 향상시킴으로써 예방할 수 있다는 점에서 접촉 부상과 큰 차이점을 보인다^{4,5}. 신경근 조절은 구심성(afferent) 신호에 따른 원심성(efferent) 반응으로, 관절의 동적 안정성을 확보하기 위한 무의식적 근육의 반응으로 정의된다. 이러한 신경근 조절은 신경근 훈련을 통해서 향상될 수 있다. 신경근 훈련은 신체 움직임 기술을 강화하고 부상을 예방하기 위한 목적으로 만들어진 훈련 방법으로⁶, 감각정보 통합의 효율성을 향상시켜 불안정한 상황에서 효과적으로 몸이 움직일 수 있도록 도와주는 다중(multiple) 훈련 방법이다. 선행연구에 따르면 6주 이상의 신경근 훈련은 하지 비접촉 기전 부상을 예방하는 데 효과적이며^{7,9}, 부족한 신경근 조절 능력을 가진 선수는 그렇지 않은 선수보다 하지의 비접촉 부상 발생 확률이 3.5배 높다고 하였다¹⁰.

부상률이 높은 태권도 선수들에게 신경근 훈련은 부상 예방과 경기력 측면에서 도움이 될 수 있다. 그러나 태권도 선수를 대상으로 실시한 신경근 훈련에 관한 연구는 부족한 실정이다. 또한 지금까지 진행된 연구는 정적 안정성 조절 평가에 초점이 맞추어져 있어^{11,12} 태권도 선수를 대상으로 한 동적 신경근 조절 평가 결과를 확인할 수 없다는 한계가 있다.

Get Set 훈련 프로그램은 국제올림픽위원회(International Olympic Committee)와 노르웨이의 오슬로 스포츠 트라우마 연구소(Oslo Sports Trauma Research Center)가 개발한 신경근 훈련 프로그램이다¹³. Get Set의 대부분 동작은 정적인 동작에 초점이 맞추어져 있는 특징을 보인다. 이는 돌려차기, 옆차기 등의 태권도

특이적 움직임과 동적 안정성 훈련의 장점을 제대로 반영하지 못할 수 있다. 선행연구에 따르면 동적인 신경근 훈련은 자세 조절 능력을 향상시켜 부상 예방 및 경기력 향상에 기여할 수 있을 뿐만 아니라⁹ 특이성의 원리를 반영한 움직임의 연습은 부상과 유사한 상황에서 자세 조절 능력을 향상시킬 수 있다¹⁴. 또한 태권도 선수의 신경근 조절 능력은 비 태권도 선수에 비해 높은 특징을 보이는데¹⁵, 정적 훈련 프로그램 위주의 Get Set 프로그램은 태권도 선수의 신경근 조절 능력을 향상시키기에는 운동 강도가 충분하지 않을 수 있다. 그러므로 상대적으로 강도가 높고 태권도 특이적 움직임을 반영한 동적 움직임 훈련 또한 신경근 훈련 프로그램에 포함할 필요가 있다.

따라서 본 연구는 신경근 훈련이 태권도 선수의 자세 안정성에 미치는 영향을 검증하고, 나아가 정적 신경근 훈련과 태권도 특이적 움직임을 반영한 동적 신경근 훈련의 효과를 비교함으로써, 태권도 선수들에게 적합한 신경근 훈련 방향을 제시하는데 목적이 있다.

연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 중재군과 대조군 배정에 있어서 연구자의 의지가 개입되지 않도록 설계된 무작위 배정(randomized control trial) 실험 디자인으로 진행하였다. 본 연구의 포함 기준(inclusion criteria)은 대회 참가 경력이 있는 현역 고등학교 태권도 선수로 한정하였다. 제외 기준은 (1) 균형 장애, 말초신경계의 기능장애, 당뇨병 등 균형에 영향을 미치는 질환을 가진 자, (2) 지난 6개월간 하지 부위에 수술 경력이 있는 자, (3) 근·골격계 부상으로 인하여 훈련 프로그램에 참여할 수 없는 자, (4) 그 외 다른 개인 사정으로 인하여 전체 훈련 일정의 80% 이상에 참여할 수 없는 자로 정의하였다. 본 연구의 인구통계적 특성은 Table 1과 같다. 최초 수도권 내에 위치한 고등학생 63명이 태권도 신경근 훈련(taekwondo neuromuscular training, TNT) 그룹, Get Set 그룹, 그리고 대조군(control group)에 각각 22, 17, 24명씩 배정되었으나, 최종적으로 연구 참여를 완료한 선수는 49명(TNT 그룹, 18; Get Set 그룹, 15; 대조군, 16)이었다(Fig. 1). 본 연구는 실행 전 연세대학교 생명윤리위원회의 심의를 거쳤으며(No. 7001988-202003-HR-646-03), 모든 진행 과정은 연구 대상자의 자발적 동의 하에 진행되었다.

Table 1. Physical characteristics of subjects

| Characteristic | TNT group | Get Set group | Control group |
|-----------------|-------------|---------------|---------------|
| No. of patients | 18 | 15 | 16 |
| Age (yr) | 16.61±0.61 | 16.47±0.64 | 16.63±0.50 |
| Weight (kg) | 63.33±15.92 | 69.97±13.36 | 60.58±8.56 |
| Height (cm) | 169.65±7.14 | 174.39±7.85 | 168.98±7.59 |

Values are presented as number only or mean±standard deviation.
TNT: taekwondo neuromuscular training.

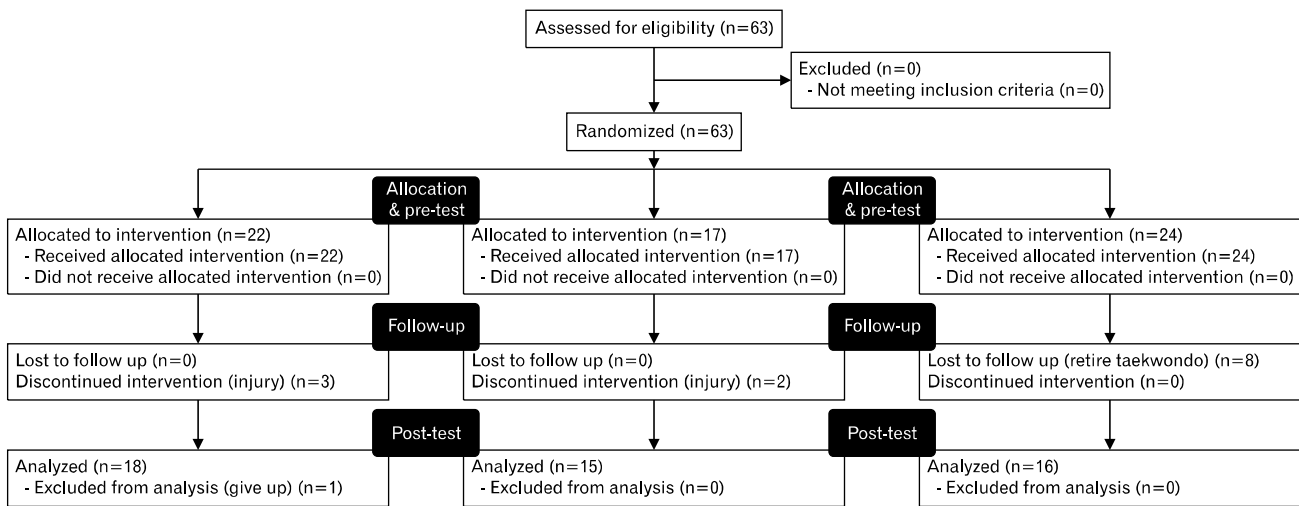


Fig. 1. Experimental design (CONSORT flow diagram).

2. 연구 절차

6주간의 신경근 트레이닝 전·후에 동적 안정성과 정적 안정성을 측정하였다. 동적 안정성은 동적 자세 안정성 검사(Dynamic Postural Stability Index, DPSI)를 통해 측정하였으며, 정적 안정성은 time-to-boundary (TTB) 검사를 통해 측정하였다. 측정에 앞서 연구 대상자의 신체 특성을 확인하고 데이터를 정규화(normalization)하기 위해 키, 몸무게, 발 길이 및 너비 등을 측정하였다. 실험에 필요한 모든 동작은 준비운동 후 연구 대상자가 동작에 친숙해질 수 있도록 3~6회 이상의 연습 기회를 주었으며, 측정 시 연구 대상자의 근 피로를 예방하기 위해 세트 간 충분한 휴식 시간을 부여하였다.

1) Dynamic Postural Stability Index

DPSI 측정은 적외선 카메라(MX-F20; Vicon Motion Systems)와 지면반력기(force plate, ORG-6; AMTI)를 사용하여 측정하였다. 마커 및 지면반력 데이터 수집을 위한 샘플링률(sampling rate)은 각 200 Hz와 2,000 Hz로 설정하였다¹⁶. 검사를 위해 연구 대상자는 지면반력기에서 70 cm 떨어진 박스 위에 서서 한쪽

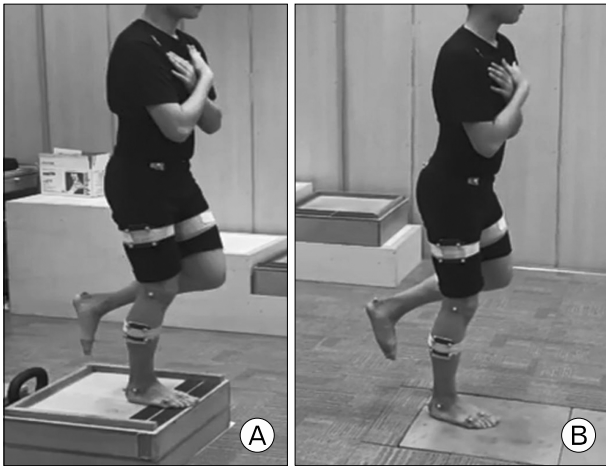


Fig. 2. Single leg landing test. (A) Starting position, (B) final position of landing.

다리를 가볍게 들어올린 채 중심을 유지하였다. 이때 박스의 높이는 선행연구를 기반으로 20 cm로 설정하였다¹⁷. 실험 시작 신호와 함께 지면반력기 위에 가볍게 착지하고 3초간 중심을 유지하였다. 실험 간 연구 대상자는 시선을 정면에 두었으며,

팔을 사용하여 중심을 잡거나 중심을 잃어 지정한 발이 움직일 경우 실험을 중지하고 재측정을 실시하였다. 이 절차를 총 3회에 걸쳐 반복하며 우세 다리(dominant leg)와 비우세 다리(non-dominant leg)를 교차해 가며 실시하였다(Fig. 2). Nexus version 1.8.5 프로그램(Vicon Motion Systems)을 통해 측정된 데이터는 Butterworth filter를 사용하여 60 Hz의 샘플링률로 필터링하였다. DPSI 분석을 위해 착지 직후부터 3초간의 x, y, z 지면반력 힘(ground reaction force) 데이터만 추출하여 사용하였다¹⁷. DPSI 계산은 MATLAB (MathWorks)을 이용하였으며, 계산 공식은 다음과 같다.

$$\text{Medial-lateral Stability Index (MLSI)} = \sqrt{\frac{\sum (0-x)^2}{\text{number of data points}}}$$

$$\text{Anterior-posterior Stability Index (APSI)} = \sqrt{\frac{\sum (0-y)^2}{\text{number of data points}}}$$

$$\text{Vertical Stability Index (VSI)} = \sqrt{\frac{\sum (\text{body weight}-z)^2}{\text{number of data points}}}$$

$$\text{Dynamic Postural Stability Index} = \sqrt{\frac{\sum (0-x)^2 + \sum (0-y)^2 + \sum (\text{body weight}-z)^2}{\text{number of data points}}}$$

2) Time-to-boundary

TTB는 Accusway 지면반력기(Accusway Plus Balance force plate)를 사용하여 50 Hz의 샘플링률로 측정하였다. 검사를 위해 연구 대상자는 맨발로 지면반력기 위에 서서 한쪽 다리를 들어올린 채 중심을 유지하였다. 중심을 유지하는 과정에서 연구 대상자는 시선을 정면에 두었으며, 양팔을 교차하여 어깨를 잡은 뒤 팔을 사용하지 않고 10초간 균형을 유지하도록 지시받았다. 측정



Fig. 3. Single leg stance test.

자는 연구 대상자가 팔을 사용하거나 지면에서 발을 움직여 중심을 잃으면 실험을 중지한 뒤 재측정을 실시하였다. 이 절차를 총 3회에 걸쳐 우세 다리와 비우세 다리를 교차해가며 측정하였다(Fig. 3). 측정된 데이터는 Balance Clinic Software를 통해 좌우(mediolateral), 앞뒤(anteroposterior) 방향에 대한 압력 중심점(center of pressure)의 범위(range)와 평균 속도(mean velocity)를 추출한 뒤 MATLAB을 이용하여 TTB 분석을 실시하였다. TTB는 선행연구를 참고하여 산출하였다¹⁸.

3. 중재 방법

모든 중재는 사전 세미나를 통해 본 연구의 훈련 프로그램을 교육받은 전문 지도자들에 의해 6주간 주 3회 실시되었다. 전문 지도자는 훈련 시작 전 연구 대상자들에게 훈련 프로그램에 대한 충분한 사전 교육을 실시하였으며, 통제에 용이하도록 2인 1조 또는 3인 1조로 팀을 만들어 훈련을 지도하였다. 중재 훈련은 준비운동과 정리운동으로 본 훈련 전후 각각 10분, 5분씩 실시하였다. 훈련 초기 2주간은 프로그램 적응을 위해 1단계의 정적인 동작(양발의 제자리 움직임)부터 시작하였으며 선수들의 개인 수준을 반영하여 2단계(양발의 직선 움직임), 3단계(한 발의 다방향 움직임)의 동적인 동작까지 점진적으로 강도를 높여 진행하였다. Get Set 그룹은 정적 신경근 훈련을 실시하였고(Table 2), TNT 그룹은 기존 Get Set 프로그램 중 하지 신경근 훈련 프로그램

Table 2. Get Set exercise program

| Exercise | Volume |
|------------------------------|---------------------|
| Level 1 | |
| Bow and arrow | 8-16 reps×3 sets |
| Pull down | 8-16×3 sets |
| Y exercise | 8-16 reps×3 sets |
| Kneeling lunge with rotation | 8 reps×3 sets |
| Squat | 8-16 reps×3 sets |
| Deep sumo squat | 8 reps×3 sets |
| Level 2 | |
| Pull down | 8-16 reps×3 sets |
| Y exercise | 8-16 reps×3 sets |
| Bow and arrow | 8-16 reps×3 sets |
| Squat | 8-16 reps×3 sets |
| Deep sumo squat | 8 reps×3 sets |
| Multidirectional lunges | 8-16 reps×3 sets |
| The diver | 5 reps×3 sets |
| Level 3 | |
| Plank with rotation | As many as possible |
| Kneeling lunge with rotation | 8-16 reps×3 sets |
| Single leg squat | As many as possible |
| Sideway hop | 8 reps×3 sets |
| Turns | 8-16 reps×3 sets |

Table 3. Taekwondo neuromuscular training program

| Exercise | Volume |
|--------------------------------------|---------------------|
| Level 1 | |
| Bow and arrow | 8–16 reps×3 sets |
| Pull down | 8–16 reps×3 sets |
| Y exercise | 8–16 reps×3 sets |
| Countermovement jump | 8 reps×3 sets |
| Ankle jump | 8–16 reps×3 sets |
| Vertical jump | 8 reps×3 sets |
| Level 2 | |
| Pull down | 8–16 reps×3 sets |
| Y exercise | 8–16 reps×3 sets |
| Bow and arrow | 8–16 reps×3 sets |
| Hurdle jump | 8–16 reps×3 sets |
| Double leg hop | 8 reps×3 sets |
| Horizontal line jump | 8–16 reps×3 sets |
| The diver | 5 reps×3 sets |
| Level 3 | |
| Plank with rotation | As many as possible |
| Single leg forward/ lateral hop | 8–16 reps×3 sets |
| Single leg maximal rebounding hop | As many as possible |
| Sideway hop | 8 reps×3 sets |
| Turns | 8–16 reps×3 sets |

을 플라이오메트릭(plyometrics) 훈련 형태를 포함하는 동적 신경근 훈련으로 수정 보완하여 실시하였다(Table 3). 프로그램의 양(volume)은 기존의 Get Set 프로그램과 동일하게 설정하였다. 훈련 프로그램은 동적 신경근 훈련 효과에 대해서 보고한 무작위 시험 연구를 기반으로 개발하였으며⁹, 레벨별 훈련 프로그램의 구성은 전문가 집단 5인(스포츠의학 박사 2명, 스포츠의학 석사 2명, 현장 전문가 1명)의 논의를 거쳐 구성하였다. Get Set 그룹과 TNT 그룹의 상지 훈련에는 신경근 조절 요소가 포함되지 않았으므로 상지 훈련 시에는 신경근 조절 요소(뒤꿈치 들기, 한 발로 균형잡기)를 추가하여 중재 훈련을 진행하였다. 끝으로 대조군은 추가 중재 없이 기존의 팀 훈련 방식을 그대로 유지하였다.

4. 자료 처리

그룹 간 사전 데이터의 차이 검증을 위해 일원분산분석(one-way analysis of variance [ANOVA])을 실시하였으며, 중재의 전후 평균 차이를 비교하기 위하여 이원혼합설계 분산분석(two-way mixed design ANOVA)을 이용하였다. Omnibus test에서 유의한 변인은 Bonferroni 사후분석을 통해 결과 값을 확인하였다. 데이터 분석은 IBM SPSS version 22.0 (IBM Corp.)을 이용하였으며, 통계치의 유의수준은 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다.

Table 4. Baseline characteristics by one-way ANOVA

| Variable | TNT group | Get Set group | Control group | F | p-value |
|------------------|-----------|---------------|---------------|-------|---------|
| D_MLSI | 0.34±0.06 | 0.38±0.08 | 0.37±0.08 | 0.972 | 0.386 |
| D_APSI | 1.44±0.06 | 1.46±0.12 | 1.48±0.11 | 0.488 | 0.617 |
| D_VSI | 5.36±0.65 | 4.86±0.94 | 5.53±0.72 | 3.158 | 0.052 |
| D_DPSI | 5.56±0.63 | 5.09±0.91 | 5.74±0.70 | 3.068 | 0.056 |
| D_Min TTBx | 0.39±0.14 | 0.41±0.15 | 0.36±0.08 | 0.721 | 0.492 |
| D_Min TTBy | 1.37±0.49 | 1.22±0.45 | 1.14±0.34 | 1.311 | 0.280 |
| D_Mean Min TTBx | 1.51±0.55 | 1.57±0.65 | 1.44±0.40 | 0.202 | 0.818 |
| D_Mean Min TTBy | 4.71±1.36 | 4.39±1.81 | 4.13±1.34 | 0.649 | 0.527 |
| ND_MLSI | 0.38±0.06 | 0.37±0.06 | 0.37±0.06 | 0.035 | 0.966 |
| ND_APSI | 1.44±0.10 | 1.40±0.11 | 1.47±0.11 | 1.815 | 0.174 |
| ND_VSI | 5.28±0.81 | 4.89±0.85 | 5.55±0.71 | 2.779 | 0.073 |
| ND_DPSI | 5.49±0.78 | 5.10±0.84 | 5.76±0.69 | 2.878 | 0.066 |
| ND_Min TTBx | 0.42±0.13 | 0.40±0.19 | 0.39±0.14 | 0.184 | 0.833 |
| ND_Min TTBy | 1.23±0.35 | 1.23±0.35 | 1.19±0.30 | 0.279 | 0.758 |
| ND_Mean Min TTBx | 1.49±0.52 | 1.57±0.75 | 1.51±0.44 | 0.088 | 0.916 |
| ND_Mean Min TTBy | 4.73±1.09 | 4.24±1.46 | 4.31±0.79 | 0.937 | 0.399 |

Values are presented as mean±standard deviation.

ANOVA: analysis of variance, TNT: taekwondo neuromuscular training, D: dominant leg, MLSI: medial-lateral stability index, APSI: anterior-posterior stability index, VSI: vertical stability index, DPSI: Dynamic Postural Stability Index, Min: minimum, TTB: time-to-boundary, TTBx: TTB x-axis (medial-lateral), TTBy: TTB y-axis (anterior-posterior), ND: non-dominant leg.

결 과

그룹 간 동적 및 정적 안정성에 대한 사전 데이터의 차이 검증 결과, 모든 변인에서 유의미한 차이가 나타나지 않았다 (Table 4).

1. 동적 안정성

동적 안정성에 대한 각 중재전략의 효과를 확인하기 위한 DPSI 분석 결과, 우세 다리의 anterior-posterior stability index (APSI) 변인에서 상호작용 효과(interaction effect)가 관찰되었다 ($p=0.006$) (Fig. 4). 상호작용 효과에 대한 사후검정 결과 그룹 간 차이는 관찰되지 않았다. 그러나 트레이닝 그룹(Get Set, TNT)

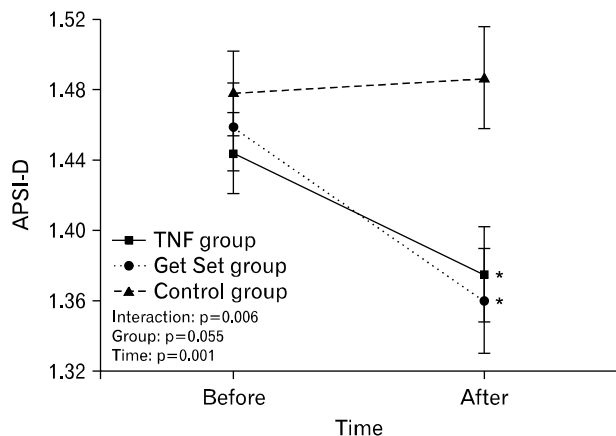


Fig. 4. Interaction effect of anterior-posterior stability index-dominant (APSI-D) leg. * $p < 0.05$.

에서 시간에 따른 훈련 효과를 관찰하였다($p=0.001$) (Table 5). 우세 다리의 vertical stability index (VSI), DPSI 변인에서는 상호작용 효과가 관찰되지 않았다. 그러나 트레이닝 그룹(Get Set, TNT)에서 시간(VSI, $p=0.018$; DPSI, $p=0.009$)과 그룹(VSI, $p=0.034$; DPSI, $p=0.033$)에 따른 주효과(main effect)를 관찰하였다 (Table 5). 비우세 다리에서는 상호작용 효과가 관찰되지 않았다. 그러나 비우세 다리의 APSI, VSI, DPSI 변인에서 트레이닝 그룹(Get Set, TNT)의 시간(APSI, $p=0.006$; VSI, $p=0.005$; DPSI, $p=0.003$)과 그룹(APSI, $p=0.044$; DPSI, $p=0.047$)에 따른 주 효과를 관찰하였다(Table 6).

2. 정적 안정성

정적 안정성에 대한 각 중재전략의 효과를 확인하기 위한 TTb 분석 결과, 우세 다리와 비우세 다리의 모든 변인에서 유의미한 통계적 효과가 관찰되지 않았다(Tables 7, 8).

고 찰

본 연구는 6주간의 서로 다른 신경근 훈련이 태권도 겨루기 선수의 동적, 정적 자세 안정성에 미치는 영향을 확인하기 위해서 수행하였다. 이에 따른 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다. (1) DPSI의 APSI 변인에서 시간×그룹 간의 상호작용 효과가 관찰되었다. 상호작용 효과에 대한 사후분석 결과 중재 훈련 그룹에서만 훈련의 효과가 나타났다. (2) 정적 자세 안정성 검사(TTB)에서는 중재 훈련의 효과가 관찰되지 않았다.

운동 선수들의 높은 자세 안정성은 경기력과 부상 예방 측면에

Table 5. Results of dominant leg MLSI, APSI, VSI, and DPSI by 3×2 two-way ANOVA with repeated measure

| Variable | TNT group | Get Set group | Control group | Time | Group | Group×time |
|----------|-----------|---------------|---------------|---------|--------|------------|
| MLSI | | | | | | |
| Before | 0.34±0.06 | 0.38±0.08 | 0.37±0.08 | 0.229 | 0.071 | 0.094 |
| After | 0.31±0.06 | 0.36±0.07 | | | | |
| APSI | | | | | | |
| Before | 1.45±0.06 | 1.46±0.12 | 1.48±0.11 | 0.001** | 0.055 | 0.006** |
| After | 1.38±0.09 | 1.36±0.14 | | | | |
| VSI | | | | | | |
| Before | 5.36±0.65 | 4.86±0.94 | 5.53±0.72 | 0.018* | 0.034* | 0.388 |
| After | 5.26±0.82 | 4.69±1.01 | | | | |
| DPSI | | | | | | |
| Before | 5.56±0.63 | 5.09±0.91 | 5.74±0.7 | 0.009** | 0.033* | 0.258 |
| After | 5.45±0.79 | 4.91±0.98 | 5.71±0.6 | | | |

Values are presented as mean±standard deviation.

MLSI: medial-lateral stability index, APSI: anterior-posterior stability index, VSI: vertical stability index, DPSI: dynamic postural stability index, ANOVA: analysis of variance, TNT: taekwondo neuromuscular training.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

Table 6. Results of non-dominant leg MLSI, APSI, VSI, and DPSI by 3×2 two-way ANOVA with repeated measure

| Variable | TNT group | Get Set group | Control group | Time | Group | Group×time |
|----------|-----------|---------------|---------------|---------|--------|------------|
| MLSI | | | | 0.116 | 0.301 | 0.067 |
| Before | 0.38±0.06 | 0.37±0.06 | 0.37±0.06 | | | |
| After | 0.33±0.05 | 0.35±0.06 | 0.39±0.06 | | | |
| APSI | | | | 0.006** | 0.044* | 0.160 |
| Before | 1.44±0.10 | 1.40±0.11 | 1.47±0.11 | | | |
| After | 1.38±0.08 | 1.36±0.13 | 1.46±0.09 | | | |
| VSI | | | | 0.005** | 0.053 | 0.650 |
| Before | 5.28±0.81 | 4.89±0.85 | 5.55±0.71 | | | |
| After | 5.17±0.93 | 4.72±0.91 | 5.48±0.58 | | | |
| DPSI | | | | 0.003** | 0.047* | 0.594 |
| Before | 5.49±0.78 | 5.1±0.84 | 5.76±0.69 | | | |
| After | 5.37±0.89 | 4.94±0.89 | 5.69±0.55 | | | |

Values are presented as mean±standard deviation.

MLSI: medial-lateral stability index, APSI: anterior-posterior stability index, VSI: vertical stability index, DPSI: dynamic postural stability index, ANOVA: analysis of variance, TNT: taekwondo neuromuscular training.

*p<0.05, **p<0.01.

Table 7. Results of dominant leg Min TTBx/y and Mean TTBx/y by 3×2 two-way ANOVA with repeated measure

| Variable | TNT group | Get Set group | Control group | Time | Group | Group×time |
|---------------|-----------|---------------|---------------|-------|-------|------------|
| Min TTBx | | | | 0.192 | 0.729 | 0.851 |
| Before | 0.39±0.14 | 0.41±0.15 | 0.36±0.08 | | | |
| After | 0.41±0.27 | 0.44±0.18 | 0.41±0.11 | | | |
| Min TTBy | | | | 0.373 | 0.483 | 0.893 |
| Before | 1.37±0.49 | 1.22±0.45 | 1.14±0.34 | | | |
| After | 1.43±1.05 | 1.35±0.45 | 1.28±0.42 | | | |
| Mean Min TTBx | | | | 0.542 | 0.974 | 0.614 |
| Before | 1.51±0.55 | 1.57±0.65 | 1.44±0.40 | | | |
| After | 1.52±1.16 | 1.54±0.51 | 1.65±0.56 | | | |
| Mean Min TTBy | | | | 0.400 | 0.700 | 0.910 |
| Before | 4.71±1.36 | 4.39±1.81 | 4.13±1.34 | | | |
| After | 4.84±3.12 | 4.52±1.41 | 4.48±1.31 | | | |

Values are presented as mean±standard deviation.

Min: minimum, TTB: time-to-boundary, TTBx: TTB x-axis (medial-lateral), TTBy: TTB y-axis (anterior-posterior), ANOVA: analysis of variance, TNT: taekwondo neuromuscular training.

서 중요하게 작용할 수 있다. 자세 안정성 수준과 경기력의 상관관계를 확인한 Pau 등¹⁹의 연구에 따르면, 국가대표 선수들이 일반 지역 리그 선수들보다 더 높은 자세 안정성을 보였다. 이러한 높은 수준의 자세 안정성은 부상률과도 관계가 있는데, Räsänen 등²⁰에 따르면 신경근 훈련이 나이, 부상 경력, 성별 등과 같은 요인에서 부상 위험률의 감소를 예측할 수 있다는 증거를 확인하였다(교차비, 0.955; 95% 신뢰구간, 0.912–0.999). 따라서 본 연구에서 나타난 자세 안정성의 향상은 향후 선수들의 경기력과 부상 위험률 감소에 긍정적인 영향을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 우세 다리의 동적 자세 안정성 변인에서만

유일한 상호작용 효과가 나타났다. 아마도 이것은 뇌반구 우세성 (brain hemispheric dominance)을 지닌 대뇌 반구의 원심성 반응에 대한 기능적 우월성에 기인한 것으로 판단된다²¹. 6주간의 신경근 훈련 후 한 다리 착지 능력을 평가한 Myer 등²²의 연구에 따르면 비우세 다리보다 우세 다리에서 더 큰 동적 안정성의 향상이 나타났으며, Paterno 등²³ 또한 마찬가지로 플라이오메트릭 형태의 훈련 후 우세 다리의 앞뒤 평면의 안정성 개선이 나타난 것을 확인하였다. 이러한 앞뒤 방향의 안정성의 개선은 태권도 겨루기 종목 선수들의 부상 위험률 감소에 긍정적인 영향을 줄 수 있다. 겨루기 선수들은 몸의 중심을 앞뒤로 번갈아 움직이는 내딛기와

Table 8. Results of non-dominant leg Min TTBx/y and Mean TTBx/y by 3×2 two-way ANOVA with repeated measure

| Variable | TNT group | Get Set group | Control group | Time | Group | Group×time |
|---------------|-----------|---------------|---------------|-------|-------|------------|
| Min TTBx | | | | 0.138 | 0.705 | 0.826 |
| Before | 0.42±0.13 | 0.40±0.19 | 0.39±0.14 | | | |
| After | 0.48±0.33 | 0.45±0.18 | 0.41±0.15 | | | |
| Min TTBy | | | | 0.444 | 0.865 | 0.909 |
| Before | 1.23±0.35 | 1.14±0.39 | 1.19±0.3 | | | |
| After | 1.27±1.11 | 1.19±0.26 | 1.30±0.33 | | | |
| Mean Min TTBx | | | | 0.271 | 0.760 | 0.436 |
| Before | 1.49±0.52 | 1.57±0.75 | 1.51±0.44 | | | |
| After | 1.96±1.94 | 1.6±0.49 | 1.55±0.56 | | | |
| Mean Min TTBy | | | | 0.613 | 0.949 | 0.115 |
| Before | 4.73±1.09 | 4.24±1.46 | 4.31±0.79 | | | |
| After | 3.95±3.03 | 4.36±1.14 | 4.62±1.17 | | | |

Values are presented as mean±standard deviation.

Min: minimum, TTB: time-to-boundary, TTBx: TTB x-axis (medial-lateral), TTBy: TTB y-axis (anterior-posterior), ANOVA: analysis of variance, TNT: taekwondo neuromuscular training.

물러던기 같은 기술을 주로 사용하고 점수 획득을 위해 높은 골반 굴곡 각도를 요구하는 발차기를 주로 구사하는데²⁴, 이러한 움직임 특성을 보조하기 위해 앞뒤 평면의 안정성 조절이 중요한 역할을 할 수 있다²⁵. 따라서 본 연구에서 나타난 앞뒤 평면의 동적 안정성 개선은 향후 부상 위험률을 낮출 수 있는 중요한 요인으로 작용할 수 있을 것이라 생각된다.

본 연구 결과, 정적 자세 안정성 변인에서는 중재 훈련의 효과를 확인하지 못하였다. 아마도 TTB 변인은 손상이 있는 대상자에 대한 연구와 밀접하게 연관되어 있기 때문일 것으로 생각된다. Mckeon 등²⁶은 만성 발목 불안정성을 가진 환자에게 4주간 신경근 훈련을 실시하였을 때 time-to-boundary anterior-posterior 변인에서 유의미한 향상을 보고하였다. 또한 Motealleh 등²⁷은 슬개-대퇴 통증 증후군 환자에게 4주간 신경근 훈련을 실시하였을 때 통증 감소 및 하지 안정성이 증가하는 것을 확인하였다. 그러나 본 연구는 하지 기능에 이상이 없는 태권도 선수를 포함 기준으로 선정하였고, 태권도 선수는 비 태권도 선수에 비하여 한발로 서는 것이 익숙하며 높은 자세 조절 능력을 가지고 있기 때문에¹⁶ 천장 효과(ceiling effect)가 발생하여 훈련의 효과가 나타나지 않은 것으로 판단된다.

본 연구에서는 정적 안정성 훈련을 진행한 Get Set 그룹과 플라이오메트릭 형태의 동적 안정성 훈련을 진행한 TNT 그룹의 훈련 효과 차이가 나타나지 않았다. 이것은 개발된 TNT 프로그램의 특성으로 인한 연구의 제한점이라 판단된다. 본 연구의 중재 프로그램은 훈련 볼륨에 의한 편향(bias)을 제거하기 위해 전체 Get Set 프로그램의 50%만 변형하여 TNT 프로그램을 개발하였다. 따라서 전체 프로그램의 훈련 강도가 오직 동적 신경근 훈련만

을 실시한 선행연구들에 비해 낮아 신경근 능력 향상을 위한 충분한 역치를 제공하지 못할 수 있다. 6주간 주 3회 하루 20분 이상 플라이오메트릭 형태의 신경근 훈련을 실시한 Surakhamaeng 등²⁸의 연구에 따르면, 플라이오메트릭 훈련 집단이 균형 훈련을 실시한 집단보다 동적 안정성이 더욱 강화되었다고 한다. 플라이오메트릭 형태의 훈련은 태권도 선수들의 민첩성과 하지 관절의 최대 토크를 향상시키고²⁹ 실제 스포츠 경기와 유사한 움직임을 연습할 수 있는 장점이 있다³⁰. 따라서 태권도 겨루기 선수들에게는 정적인 형태의 신경근 훈련보다 플라이오메트릭과 결합된 형태의 신경근 훈련을 적용하는 것이 자세 안정성뿐 아니라 파워 향상을 통한 경기력 증진 효과를 모두 가져올 수 있을 것이라 생각된다.

본 연구는 3개 팀에서 각기 다른 중재 훈련 프로그램을 진행하였다. 각 팀마다 기존부터 수행해온 태권도 훈련 프로그램 구성이 다르기 때문에 이것이 중재 훈련의 효과에 영향을 미쳤을 수 있다. 예를 들어 체력훈련보다 기술훈련을 더 많이 시행하는 학교의 경우 한발로 서있는 시간이 더 길어지기 때문에 안정성 검사에서 더 좋은 능력을 보일 수 있다. 그러나 학교 간 훈련 일수와 부분별(기술, 체력) 훈련 시간에서는 차이를 보이지 않았기 때문에 훈련에서 나타나는 편향은 최소화되었을 것으로 판단된다.

본 연구는 태권도 선수들을 대상으로 신경근 훈련의 효과를 확인하고 정적 신경근 훈련과 동적 신경근 훈련의 효과를 비교하기 위해 진행하였다. 그 결과 신경근 훈련을 실시한 집단에서만 훈련의 효과가 관찰되었다. 그러나 각 집단(Get Set, TNT) 간 중재 프로그램에 따른 훈련 효과의 차이는 확인할 수 없었다. 그러므로 본 연구의 결과만을 가지고 특정 훈련 방법을 지지하는

데에는 한계가 있다. 따라서 장기간의 후속 연구를 통해 두 훈련 간의 차이를 명확히 확인할 필요가 있으며, 신경근 훈련이 실제로 태권도 선수들의 비접촉 기전의 부상을 얼마나 줄일 수 있는지에 대한 병 역학 연구와 움직임 패턴 확인을 위한 운동학 연구 또한 추가로 실시할 필요가 있다.

Conflict of Interest

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

ORCID

Hyung Ju Lim <https://orcid.org/0000-0002-0434-9213>
 Heeseong Jeong <https://orcid.org/0000-0001-8318-7322>
 Inje Lee <https://orcid.org/0000-0002-7680-8546>
 Hyung Gyu Jeon <https://orcid.org/0000-0002-8782-5341>
 Sae Yong Lee <https://orcid.org/0000-0002-0526-3243>

Author Contributions

Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Resources, Software, Visualization: HJL. Investigation: HJL, HGJ. Methodology, Project administration, Supervision: all authors. Validation: HJL, HJ, HGJ, IL. Writing-original draft: HJL. Writing-review & editing: HJL, IL, HGJ, SYL.

References

1. Lystad RP, Pollard H, Graham PL. Epidemiology of injuries in competition taekwondo: a meta-analysis of observational studies. *J Sci Med Sport* 2009;12:614-21.
2. Jeong HS, Ha S, Lee SY. Injuries of Korean youth taekwondo athletes applying injury surveillance systems. *J Sport Leis Stud* 2020;82:433-440.
3. Thomas RE, Thomas BC, Vaska MM. Injuries in taekwondo: systematic review. *Phys Sportsmed* 2017;45:372-90.
4. McCall A, Carling C, Nedelec M, et al. Risk factors, testing and preventative strategies for non-contact injuries in professional football: current perceptions and practices of 44 teams from various premier leagues. *Br J Sports Med* 2014;48:1352-7.
5. Alentorn-Geli E, Myer GD, Silvers HJ, et al. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 2: a review of prevention programs aimed to modify risk factors and to reduce injury rates. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2009;17:859-79.
6. Hübscher M, Zech A, Pfeifer K, Hänsel F, Vogt L, Banzer W. Neuromuscular training for sports injury prevention: a systematic review. *Med Sci Sports Exerc* 2010;42:413-21.
7. Emery CA, Cassidy JD, Klassen TP, Rosychuk RJ, Rowe BH. Effectiveness of a home-based balance-training program in reducing sports-related injuries among healthy adolescents: a cluster randomized controlled trial. *CMAJ* 2005;172:749-54.
8. Rivera MJ, Winkelmann ZK, Powden CJ, Games KE. Proprioceptive training for the prevention of ankle sprains: an evidence-based review. *J Athl Train* 2017;52:1065-7.
9. Sañudo B, Sánchez-Hernández J, Bernardo-Filho M, Abdi E, Taïar R, Núñez J. Integrative neuromuscular training in young athletes, injury prevention, and performance optimization: a systematic review. *Appl Sci* 2019;9:3839.
10. Butler RJ, Lehr ME, Fink ML, Kiesel KB, Plisky PJ. Dynamic balance performance and noncontact lower extremity injury in college football players: an initial study. *Sports Health* 2013;5:417-22.
11. Yoo S, Park SK, Yoon S, Lim HS, Ryu J. Comparison of proprioceptive training and muscular strength training to improve balance ability of taekwondo poomsae athletes: a randomized controlled trials. *J Sports Sci Med* 2018;17:445-54.
12. İpekoğlu G, Erdogan CS, ER F, Baltacı G, Colakoglu FF. Effect of 12 week neuromuscular weighted rope jump training on lower extremity reaction time. *Turk J Sport Exerc* 2018; 20:111-5.
13. Verhagen E. Get Set: prevent sports injuries with exercise! *Br J Sports Med* 2015;49:762.
14. Giboin LS, Gruber M, Kramer A. Task-specificity of balance training. *Hum Mov Sci* 2015;44:22-31.
15. Patti A, Messina G, Palma R, et al. Comparison of posturographic parameters between young taekwondo and tennis athletes. *J Phys Ther Sci* 2018;30:1052-5.
16. Wikstrom EA, Tillman MD, Smith AN, Borsa PA. A new force-plate technology measure of dynamic postural stability: the dynamic postural stability index. *J Athl Train* 2005;40: 305-9.
17. Huurnink A, Fransz DP, Kingma I, de Boode VA, Dieën JH. The assessment of single-leg drop jump landing performance by means of ground reaction forces: a methodological study. *Gait Posture* 2019;73:80-5.
18. Hertel J, Olmsted-Kramer LC, Challis JH. Time-to-boundary measures of postural control during single leg quiet standing.

- J Appl Biomech 2006;22:67-73.
19. Pau M, Porta M, Arippa F, et al. Dynamic postural stability, is associated with competitive level, in youth league soccer players. Phys Ther Sport 2019;35:36-41.
20. Räisänen AM, Galarneau JM, van den Berg C, et al. Identifying predictors of response and non-response to neuromuscular training warm-up programs among youth. Osteoarthritis Cartil 2022;30:S234.
21. Paillard T, Noé F. Does monopodal postural balance differ between the dominant leg and the non-dominant leg?: a review. Hum Mov Sci 2020;74:102686.
22. Myer GD, Ford KR, Brent JL, Hewett TE. The effects of plyometric vs. dynamic stabilization and balance training on power, balance, and landing force in female athletes. J Strength Cond Res 2006;20:345-53.
23. Paterno MV, Myer GD, Ford KR, Hewett TE. Neuromuscular training improves single-limb stability in young female athletes. J Orthop Sports Phys Ther 2004;34:305-16.
24. Bešlija T, Marinković D, Čular D. Postural stability assessment in elite taekwondo athletes: comparative study between different age group. Acta Kinesiol 2017;11:98-104.
25. Ha CS, Yoon JS, Kim JJ. The biomechanical analysis of the taekwondo in dollyochagi motion during the badachagi. Korean J Sport Sci 2011;20:1187-95.
26. McKeon PO, Ingersoll CD, Kerrigan DC, Saliba E, Bennett BC, Hertel J. Balance training improves function and postural control in those with chronic ankle instability. Med Sci Sports Exerc 2008;40:1810-9.
27. Motealleh A, Mohamadi M, Moghadam MB, Nejati N, Arjang N, Ebrahimi N. Effects of core neuromuscular training on pain, balance, and functional performance in women with patellofemoral pain syndrome: a clinical trial. J Chiropr Med 2019; 18:9-18.
28. Surakhamhaeng A, Bovonsunthonchai S, Vachalathiti R. Effects of balance and plyometric training on balance control among individuals with functional ankle instability. Physiother Q 2020; 28:38-45.
29. Singh A, Boyat AV, Sandhu JS. Effect of a 6 week plyometric training program on agility, vertical jump height and peak torque ratio of Indian taekwondo players. Sport Exerc Med Open J 2015;1:42-6.
30. Freyler K, Krause A, Gollhofer A, Ritzmann R. Specific stimuli induce specific adaptations: sensorimotor training vs. reactive balance training. PLoS One 2016;11:e0167557.