

# Effects of Elastic Resistance Training on Biomechanical Ability in College Taekwondo Athletes

Hyun Suk Yang<sup>1</sup>, Jonggeun Woo<sup>2</sup>, Jiheon Hong<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Department of Martial Art and Guard, Sun Moon University, Asan, Republic of Korea, <sup>2</sup>Department of Physical Therapy, College of Health Sciences, Sun Moon University, Asan, Republic of Korea, <sup>3</sup>Digital Healthcare Institute, Asan, Republic of Korea

**Purpose:** This study compared the effects of the elastic resistance and general training for college Taekwondo athletes, and investigated the biomechanical ability and lower extremity function according to the movement speed of the knee joint.

**Methods:** Twenty university student Taekwondo athletes participated voluntarily in this study. The subjects performed general resistance training for four weeks, followed by elastic resistance training for another four weeks. The biomechanical parameters during the fast and slow isokinetic conditions, Y-balance ability, and vertical jump ability were measured three times: before training, after general resistance training, and after elastic resistance training. Statistical analysis was performed under isokinetic conditions and the intervention effect.

**Results:** The biomechanical ability differed significantly between fast and slow isokinetic conditions ( $p < 0.05$ ). An analysis of the training method revealed a significant difference in the maximum knee extension speed and the posterior-lateral direction of the Y-balance test ( $p < 0.05$ ).

**Conclusion:** Elastic resistance training had a more positive effect on the functional task performance than biomechanical factors related to muscular strength compared to general resistance training. In addition, speed-related knee biomechanical information of subjects with strong physical abilities could be utilized in sports physiotherapy.

**Keywords:** Elastic resistance, Movement speed, Knee, Taekwondo, Biomechanics

## 서론

무릎 관절의 움직임은 직업과 여가 생활을 위한 과제를 포함하여 다양한 일상생활활동에 필요하다.<sup>1</sup> 무릎의 동역학과 운동학의 교란과 같은 생체역학적 혼란에 의해 조직의 손상과 통증이 유발된다.<sup>2</sup> 이 현상이 반복되면 무릎 불안정성이 발생 또는 악화되고 조직의 퇴행이 나타난다. 다시 말해, 무릎 관절은 안정성의 한계를 초과하는 움직임에 의해 손상이 발생된다. 따라서, 근력 강화를 위해 무릎에 대한 저항운동이 필요하며 이를 통해 무릎 관절 안정성의 한계점을 증가시킬 필요가 있다. 일반적으로 부상은 수행에 대한 요구가 개인의 능력을 초과하는 경우 발생된다.<sup>1</sup> 근력은 외부 물체 또는 힘에 대해 행사하는 힘으로 정의되며 더 높은 수준의 근력은 기능적 수행을 향상시키고 손상의 위험을 감소시킬 수 있다.<sup>2</sup> 근력 강화를 위해 가장 보편적으로 사용되는 방법은 저항운동이며, 평생에 걸쳐 건강한 삶을 위해서 추천된다.<sup>3,5</sup> 저항운동을 통한 기계적 자극은 호르몬과 대사 요

소들의 상호작용을 발생시키고 이 변화로 인해 근육 교차결합 영역이 증가되고 신경근 적응이 나타난다.<sup>4</sup> 그 결과 저항운동은 특정 과제 수행에 대한 운동학과 동역학을 변화시킨다. 저항운동에 따른 생리학적 반응의 종류와 크기는 부하, 세트 및 반복 횟수, 운동 유형 및 순서 등의 운동 프로그램 변수에 의해 조정된다.<sup>6</sup> 운동 또는 건강 전문가들은 긍정적인 반응을 자극하여 저항운동의 효과를 촉진하기 위해서 효과적인 저항운동 장치가 필요하다고 제안했다.<sup>5</sup>

일반적으로 가장 많이 사용되는 장치는 전통적인 등장성 저항을 제공하는 덤벨 또는 바벨을 이용하는 프리 웨이트와 다양한 웨이트 머신들이 있다. 등장성 도구를 활용한 저항 운동은 신체 기능과 구성 및 기타 건강 관련 변수에 유의한 것으로 나타났다.<sup>5,7</sup> 추가적으로 탄성 밴드를 이용한 운동은 탄성 저항이 적용된다. 탄성 밴드를 사용하는 저항운동은 전통적인 등장성 저항운동과 비교하여 특정 기반 시설이 필요 없기 때문에 사용자 친화적이고 휴대가 간편하며 낮은 비용의 장점을 가지고 있다.<sup>5</sup> 탄성 저항 훈련은 노인을 포함한 전 연령대

Received September 15, 2023 Revised October 10, 2023

Accepted October 19, 2023

Corresponding author Jiheon Hong

E-mail [hgh1020@hanmail.net](mailto:hgh1020@hanmail.net)

Copyright ©2023 The Korean Society of Physical Therapy

This is an Open Access article distribute under the terms of the Creative Commons Attribution Non-commercial License (<https://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.

에 대해 근비대, 근력, 파워, 그리고 균형과 기능적 이동 능력의 향상이 규명되었다.<sup>8,9</sup> 이런 탄성 밴드의 효과와 장점에 기인하여 탄성 밴드를 적용한 저항운동은 재활 목적으로 폭넓게 사용되고 있다.<sup>10</sup> 탄성 저항 훈련은 근육과 관련된 생체역학적 변화와 함께 기능도 증가시킨다고 고찰 연구 수준의 보고가 되었다.<sup>11</sup> 그러나 일반 저항 훈련과 비교한 탄성 저항운동의 효과 규명 연구들에 따르면 두 가지 저항 훈련 사이에 생체역학적, 근활성도, 신체 조성, 그리고 기능적인 큰 차이가 나타나지 않았다고 보고되었다.<sup>12-15</sup>

스포츠 물리치료는 운동 또는 강건한 신체활동으로 부상을 입었거나 다시 복귀하고자 하는 대상의 신체적 활동과 건강 관리에 중점을 두고 있는 물리치료의 전문분야이다.<sup>16,17</sup> 스포츠 물리치료사는 운동 선수의 스포츠 활동 참여를 위해서 부상 예방, 손상 관리와 함께 수행 향상에 대한 개인 맞춤형 계획을 수립한다. 따라서 물리치료 분야에 필요한 생체역학적 데이터와 기능적 능력에 대한 과학적 자료는 정상인과 비교하여 상대적으로 낮은 수행능력의 환자 또는 노인뿐만 아니라 강건한 신체 능력에 대한 부분도 필요하다. 예를 들어 일반인의 일상생활 동작의 무릎 최대 속도와 비교하여 운동 선수들의 자기 종목에서의 무릎 각속도의 요구는 더 높다. 일상적인 삶을 살아가기 위해서 다양한 동작을 수행하는 동안 무릎의 최대 각속도는 550°/s가 필요하다는 보고도 있다.<sup>18</sup> 태권도 선수들의 발차기 동작 시 무릎관절의 굽힘 및 펴기의 최대 각속도는 각각 1,000°/s와 1,584°/s에 도달한다.<sup>19</sup> 따라서 우수 운동 선수의 하지 기능과 생체역학적 자료를 수집하여 스포츠 물리치료 분야에 필요한 과학적 근거를 확보할 필요가 있다.

탄성 밴드를 이용하는 훈련은 저항운동의 한가지 방법으로 재활 분야에 널리 이용되고 있지만, 전통적인 훈련과 비교하여 차이점이 명확히 규명되지 않았다. 탄성 저항을 적용하는 훈련은 빠른 속도의 운동 조건에서 수행되지만 외부 저항을 이용하는 등장성 저항 운동은 대부분 느린 속도 조건에서 부하 강도를 제어하며 훈련이 적용된다. 따라서, 탄성 저항 훈련에 대한 생체역학적 자료의 수집은 빠른 속도의 움직임과 느린 속도의 조건에 대한 평가가 필요하다. 본 연구의 목적은 대학생 태권도 선수에 대해 탄성 저항 훈련과 일반 훈련의 효과를 비교하여, 탄성 저항 훈련이 무릎 관절의 빠르고 느린 조건에서의 생체역학적 능력과 하지 기능에 미치는 영향을 규명하는 것이다.

## 연구 방법

### 1. 연구대상

본 연구는 대한민국 충남에 소재한 S 대학 20대 태권도 단종 소지 선수 20명(남자: 16명, 여자: 4명)을 대상으로 진행하였고 대상자의 제외 기준은 다음과 같다. 1) 하지의 수술 과거력, 외상 혹은 신경학적 질병의 과거력, 2) 무릎관절이나 발목 관절의 통증이나 부종, 전위, 3) 무릎

관절의 안굽이, 밖굽이 변형 또는 고위 무릎 뼈, 4) 무릎관절의 과운동성 증후군 혹은 과다 젖힘 증상이 없는 자, 5) 무릎 뼈 경사, 아탈구와 같은 무증상의 무릎 뼈 불안정성 방사선학적 증거가 없는 자에 대해 자발적 동의 후 실험이 진행되었다. 이는 인간대상자의 윤리적 연구 이용에 관한 모든 관련기관 및 정부규제를 준수하였으며, 선문대학교 기관생명윤리회(SM-202105-048-2)와 질병 관리청 임상연구정보서비스(KCT0006458)의 임상연구윤리심의 승인을 받았다.

### 2. 실험 절차

대상자들은 부상 예방을 위해 고정식 자전거에서 50-70 RPM으로 3분 동안 준비운동을 실시하였다. 등속성 매개변수, 수직 점프 높이, Y-균형 능력에 대해 운동 중재 전, 일반 저항 훈련 4주 후, 그리고 탄성 저항 훈련 4주 후 세 번의 평가가 진행되었다. 평가에 사용된 기기는 등속성 동력계, 수직 점프 검사, Y-균형 검사가 사용되었다. 훈련은 일반 저항 훈련과 탄성 저항 훈련 모두 주 3회, 회당 1시간 진행하였다. 일반 저항 훈련은 무릎 올리기 양발 각 100회 3세트, 앞차기 양발 각 100회 1세트, 신호에 맞춰 무릎 두 번 올리기 각 50회 2세트, 양발 무릎 올리며 달리기 50m 4세트, 무릎 가슴 닿기 점프 50회 4세트로 진행되었고 탄성 저항 훈련은 일반 저항 훈련과 동일한 과제에 대해 탄성 밴드를 적용하여 시행되었다(Figure 1). 탄성 밴드는 태권도 훈련용 벨트로 국민체육진흥공단의 시험성적 결과 발목 벨트의 최대 접착 강도는 654.6N, 허리 벨트는 3,223.6N이었다. 모든 대상자는 탄성 저항 훈련과 일반 저항 훈련 모두 각각의 운동 시행은 자신이 할 수 있는 최대 속도와 높이가 요구되었다. 탄성 저항 훈련의 탄성 강도는 동작을 수행할 수 있는 최대의 탄성 저항 강도로 대상자마다 길이를 조절하여 설정하였다. 모든 참가자는 통증이나 이상증세가 있으면 자발적으로 그만둘 수 있으며 COVID-19의 감염 등으로 인한 7일 이상의 훈련 중단인 경우에는 실험에서 제외되었다.

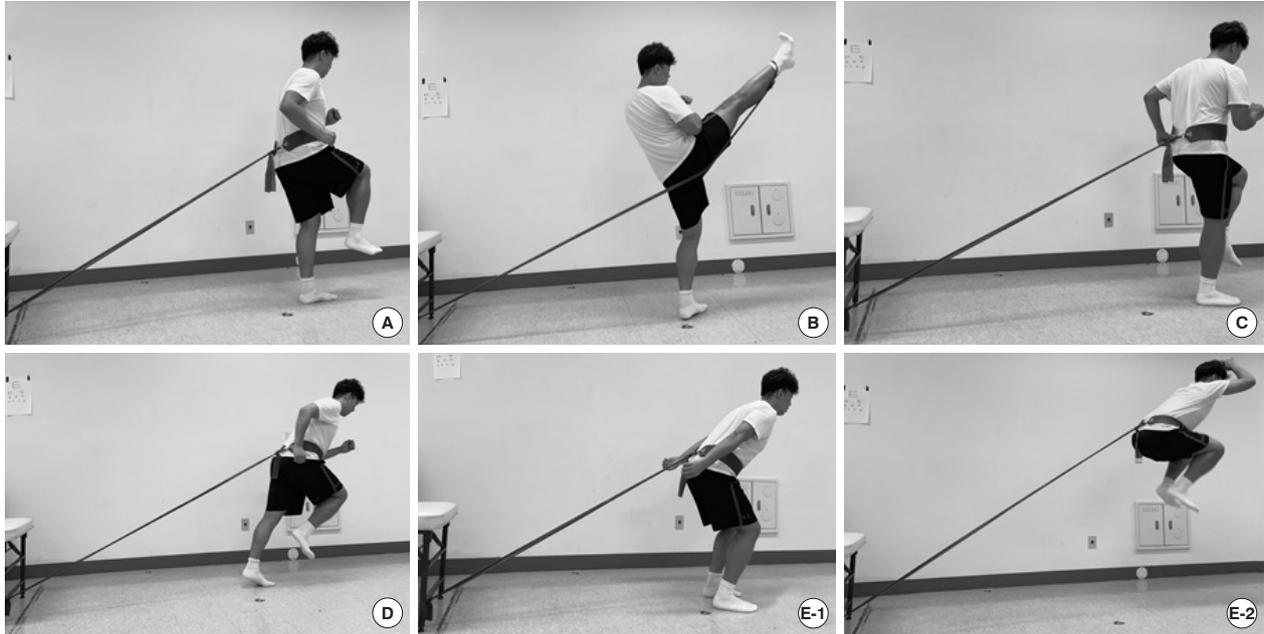
### 3. 측정도구 및 방법

#### 1) 등속성 동력계(Isokinetic dynamometer)

등속성 매개변수들은 등속성 동력계(HUMAC NORM Testing and Rehabilitation System, CSMI Medical Solutions, Stoughton, MA)를 이용하여 검사하였다. 대상자를 측정용의자에 앉은 후 허벅지와 몸통을 고정 벨트로 고정하였고, 힘 점인 무릎관절에서부터 레버 암을 발목 관절 2cm 위인 지점에 정강이 패드가 오도록 길이를 조절하여 끈으로 고정하였으며 대상자의 최대 속도를 측정하기 위해 isotonic torque 0을 사용하였다.<sup>19</sup> 빠른 속도 조건의 생체역학 매개변수의 측정은 개인별 최대 속도를 등속성 제한 속도로 적용하였고, 느린 속도 조건은 최대 속도의 10%에 대해 평가되었다. 무릎관절을 중심으로 이루어지는 굽힘 펴기 운동의 범위를 무릎 굽힘 90°, 무릎 펴기 0°로 설정하였다. 검

사 중에는 대상자가 최대 근력을 발휘할 수 있도록 양손은 고정된 손잡이를 잡게 하였으며, 청각적 격려를 제공하였다. 평가는 3번의 연습과 3번의 측정으로 진행되었다. 등속성 운동을 수행하는 동안 굽힘

과 폼 동작의 각각의 생체역학 매개변수는 최대 토크(Peak Torque, PT), 움직이는 동안의 총 일량(Total work, TW), 평균 일률(Average Power, AP), 최대 속도(Peak Velocity, PV), 넙다리네갈래근 대비 넙다리



**Figure 1.** Standard training program and Elastic exercise program. A: Knees up, B: Front kick, C: Knees up 2 repetition, D: High knee running, E-1: Knee to chest jump (ready position), E-2: Knee to chest jump.



**Figure 2.** Measurement equipments. A-1: Isokinetic measurement (resting position), A-2: Isokinetic measurement, B-1: Vertical jump height test (baseline position), B-2: Vertical jump height test (starting position), B-2: Vertical jump height test, C-1: Y-balance test, C-2: Y-balance test (start position), C-3: Y-balance test (anterior), C-4: Y-balance test (posteromedial), C-5: Y-balance test (posterolateral).

뒤근의 최대 토크 비율(Hamstring to quadriceps peak torque ratio: HQ%)이었다.

### 2) 수직 점프 검사(Vertical jump height)

대상자들은 시작 전 팔을 펴한 상태의 높이를 기준으로 시행되었다. 대상자들은 손에 잉크를 바른 후 똑바로 서 있는 자세에서 시작하여 무릎과 엉덩이를 모두 구부리면서 아래쪽으로 빠르게 반동을 사용해 가능한 최대한 높이 점프하도록 요구되었다. 수직 점프 능력의 수치는 가장 높은 곳에 표시된 높이를 사용하였다.<sup>20</sup>

### 3) Y-균형 검사

Y-균형 검사(Y-Balance test, Perform Better, USA)는 하지의 기능을 평가하기 위한 것으로 검사 중 도달 거리에 따라 측정된다(Figure 2C1-5). 대상자는 가운데에 우세측 한 발로 서, 다른 다리로 앞, 뒤,가쪽, 뒤-안쪽 방향으로 블록을 밀어 내도록 요구하였다. 측정 시에 모든 대상자들은 신발에 의해 안정성에 영향을 받을 수 있기에 맨발로 진행하였다. 대상자는 각 방향으로 2회의 연습을 진행한 후, 각 방향으로 3번의 측정을 실시하였다. 측정 자세는 한 다리로 서서 골반에 손을 얹고 각 방향으로 자세를 유지한 상태에서 최대 도달한 지점으로 측정되었다. 플랫폼에서 자세를 유지하지 못한 경우(예: 뻗는 발이 바닥에 닿거나 스탠스 플랫폼에서 떨어짐, 뻗는 발과 블록의 접촉을 유지하지 못한 경우) 그 회차는 폐기되고 다시 측정하였다. 개인별 도달 거리를 정규화 하기 위해 바로 누운 자세에서 위앞엉덩뼈가시에서 안쪽 복사뼈의 가장 튀어나온 부분까지의 다리길이를 측정하여 다음의 공식으로 백분율로 계산되었다.<sup>21</sup>

공식: 정규화 값 =  $\frac{(\text{측정 1} + \text{측정 2} + \text{측정 3})}{\text{다리길이}} \times 100$

## 4. 자료분석

모든 통계 분석의 경우 SPSS/PC ver.22.0 for Windows program (SPSS INC, Chicaco, IL, USA)을 사용하였다. 모든 항목의 각 변인들에 대한 측정값은 평균(Mean, M)과 표준편차(Standard Deviation, SD)로 산출하여 비교하였다. 빠른 속도 조건과 느린 속도 조건을 비교하기 위해 실시한 정규성 검정에서 정규성을 충족하지 않아 비모수 통계인 Wilcoxon signed rank 검정을 사용하였다. 대조군, 일반 저항 훈련, 탄성 저항 훈련의 차이를 비교하기 위해 실시한 정규성 검정에서 정규성을 충족하지 못하여 비모수 통계 Friedman 검정을 사용하여 분석하였고 사후 검정은 Wilcoxon signed rank 검정을 사용하였다. 통계학적 유의 수준은  $\alpha = 0.05$ 로 설정하였다.

## 결 과

본 연구에 참여한 대상자의 일반적인 특성은(나이, 키, 몸무게, 체질량지수) 다음과 같다(Table 1). 대상자들은 총 20명이 포함되었지만 일반 저항 훈련 후 2명이 COVID-19 감염으로 중도 탈락되어 측정 시 18명이 참가했으며, 탄성 저항 훈련 후 무릎 부상으로 1명 그리고 COVID-19 감염 1명이 탈락되어 최종적으로 총 4명이 중도탈락되었다. 태권도 선수들의 개인별 최대 속도인 빠른 조건과 최대 속도 대비 10%인 느린 속도 조건에서 굽힘과 펴 무릎 움직임의 생체역학적 매개변수들은(최대 토크, 총 일량, 일률, HQ%, 최대 속도) 모두 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). 태권도 선수의 사전 검사, 일반 저항 훈련 후, 탄성 저항 훈련 후에서 다리 펴 최대 토크, 다리 굽힘 총 일량, 다리 펴 평균 일률, 최대 속도는 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). 사후검정 결과 빠른 속도 조건에서 다리 펴 최대 토크는 일반 저항 훈련이 대조군보다 더 큰 힘을 발휘했고( $p < 0.05$ ), 느린 속도 조건에서 다리 굽힘 총 일량은 탄성 저항 훈련이 대조군보다 더 많은 일량을 나타냈다( $p < 0.05$ ). 빠른 속도 조건에서의 평균 일률은 탄성 저항 훈련과 일반 저항 훈련이 대조군보다 더 큰 효율을 보여주었으나 탄성 훈련과 일반 저항 훈련 간의 차이는 없었다( $p > 0.05$ ). 최대 속도는 빠른 속도 조건과 느린 속도 조건 모두 유의한 차이를 나타냈으며( $p < 0.05$ ) 사후 검정 결과 탄성 저항 훈련과 일반 저항 훈련이 대조군보다 더 빠른 속도를 낼 수 있었지만 훈련법 간의 차이는 없었다( $p > 0.05$ )(Table 2).

하지 기능의 결과는 수직 점프 검사에서 사전, 검사, 일반 저항 훈련 후, 탄성 저항 훈련 후 유의한 차이가 나타났고( $p < 0.05$ ), Y-균형 검사에서는 뒤-안쪽과 뒤-가쪽 방향에서의 균형능력에서 유의한 차이를 보였으나( $p < 0.05$ ) 앞쪽 방향에서는 유의미한 차이를 찾을 수 없었다( $p > 0.05$ ). 사후검정 결과 수직 점프 높이는 탄성 저항 훈련과 일반 저항 훈련이 대조군보다 더 높은 높이를 기록하였으며 탄성 저항 훈련과 일반 저항 훈련 간의 차이는 없었다( $p > 0.05$ ). Y-균형 검사의 뒤안쪽은 탄성 저항 훈련이 일반 저항 훈련보다 더 멀리 도달할 수 있었다( $p < 0.05$ ). 뒤가쪽 방향은 탄성 저항 훈련이 가장 멀리 도달하였고 대조군, 일반 저항 훈련 순서로 유의한 차이가 나타났다( $p < 0.05$ )(Table 2).

**Table 1.** General characteristics of subjects

	Participants (n=20)
Age (years)	20.9±0.3
Height (cm)	172.0±1.4
Weight (kg)	67.5±2.4
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	22.8±0.7
Level (degree)	3.7±0.8
Career (years)	9.4±3.9
Gender (M/F)	16/4

All values are presented as mean±standard deviation.

Table 2. Comparison of isokinetic parameter and functional ability for each training program

Isokinetic parameters	Angular velocity (%)	Intervention				
		Control (n=20)	STP (n=18)	EEP (n=16)	p-value	Post-hoc
PT (Nm): Flexion	10	105.68±22.12	105.70±24.50	110.69±25.30	0.44	
	100	69.75±14.31	69.70±14.80	71.60±15.85	0.98	
PT (Nm): Extension	10	170.88±38.29	155.09±34.04	157.71±41.81	0.65	
	100	56.08±10.81	62.50±12.75	61.15±13.90	0.02*	STP>Control
TW (J): Flexion	10	124.08±25.73	123.37±30.41	131.10±30.13	0.05*	EEP>Control
	100	71.07±16.17	73.91±15.07	74.40±18.02	0.56	
TW (J): Extension	10	145.63±34.12	145.24±27.91	154.65±36.43	0.24	
	100	62.85±13.08	73.43±15.31	68.75±16.11	0.06	
AP (W): Flexion	10	60.90±15.39	59.09±15.92	61.58±17.10	0.45	
	100	187.87±46.12	189.26±37.90	197.38±44.08	0.17	
AP (W): Extension	10	68.60±21.28	63.98±16.68	70.15±20.27	0.27	
	100	142.42±45.77	174.22±49.75	176.58±55.24	0.05*	EEP>Control, STP>Control
HQ (%)	10	64.92±12.10	69.91±16.52	71.93±13.00	0.27	
	100	126.12±23.86	112.34±15.43	119.07±20.65	0.21	
PV (deg/sec)	10	40.57±2.58	43.06±2.35	42.89±2.68	0.02*	EEP>Control, STP>Control
	100	405.67±25.77	430.61±23.55	428.94±26.82	0.02*	EEP>Control, STP>Control
Functional ability						
ANT		78.13±13.35	73.28±7.19	73.83±7.24	0.44	
PM		102.39±14.86	98.24±7.70	105.50±10.99	0.04*	EEP>STP
PL		102.32±9.95	93.72±9.64	107.39±10.27	0.01*	EEP>Control>STP
VJH		50.35±12.63	53.34±11.07	67.38±54.86	0.02*	EEP>Control, STP>Control

STP: Standard training program, EEP: Elastic band exercise program, PT: Peak Torque, AT: Average Torque, TW: Total, work, AP: Average Power, HQ%: Hamstring Quadriceps peak torque ratio, PV: Peak velocity, ANT: Anterior, PM: Posteromedial, PL: Posterolateral, VJH: Vertical jump height, ±SD: Standard deviation. \*p<0.05.

## 고찰

본 연구는 강건한 신체 능력을 가지고 있는 대학생 태권도 선수에게 일반 훈련과 탄성 밴드를 적용한 훈련의 차이를 느린 속도와 빠른 속도 조건에 대해 무릎 생체역학적 능력(토크, 일량, 일률)과 하지 기능에 대해 조사하였다. 본 연구에서 빠른 속도 조건은 개인별 최대 속도의 무릎 펌과 굽힘 동작으로 설정되었고 느린 속도 조건은 개인별 최대 속도의 10퍼센트로 설정된 속도를 최대 속도로 제한하는 등속성 조건으로 측정되었다. 빠른 속도 조건과 느린 속도 조건에 대한 굽힘과 펌 무릎 움직임의 생체역학적 매개변수들은(최대 토크, 총 일량, 일률, HQ%, 최대 속도) 모두 유의한 차이를 보였다. 본 연구의 훈련에 따른 생체역학적 매개변수 중 평균 일률과 최고 속도가 빠른 속도 조건에서 대조군과 비교하여 일반 저항 훈련과 탄성 저항 훈련에서 모두 증가함을 확인할 수 있었다. 그러나 훈련 사이에 유의한 차이는 없었다. 본 연구의 최고의 결과는 하지의 균형 능력에서 뒤-안쪽과 뒤-가쪽 방향에 대해 탄성 저항 훈련이 일반 저항 훈련보다 향상됨을 확인하였다.

선행연구들에서 느린 속도와 비교하여 더 빠른 속도의 움직임에 대한 생체역학적 기능은 토크와 일량의 감소와 일률의 증가가 보고되었다.<sup>22-25</sup> 물리적으로, 토크는 물체의 회전 운동을 변화시키는 힘의 능력이며 선형 힘과 동등한 회전 힘이다. 그리고 일량은 물체의 움직임을 일으키는 힘으로, 물체가 외력에 의해 일정 거리를 이동할 때 발생하는 에너지를 측정한다. 속도의 증가는 근육의 감소를 동반한다는 선형 모델의 힘-속도 관계가 성립된다.<sup>16</sup> 따라서, 속도가 증가하면 토크와 일량에 대해 양성적 힘의 발생을 담당하는 근육이 감소되었기 때문에 두 값 모두 감소된다고 사료된다. 일률은 일량을 그 과제 수행 시간으로 나눈 값으로 정의된다.<sup>26</sup> 따라서 본 연구 결과에서 개인별 최대 속도로 움직이는 경우 느린 등속성 움직임과 비교하여 일량은 감소되었지만, 움직임의 시간 감소의 영향이 더 컸기 때문에 일률이 증가된 것으로 사료된다. 일량의 증가는 힘과 속도의 관계가 효율적인 상태로 변화되었다는 것을 반영한다.<sup>27</sup> 따라서 본 연구에서 나타난 일량의 증가는 우수한 태권도 선수의 경우 빠른 속도 조건에서 움직임의 효율이 증가를 반영한 것으로 생각된다.

본 연구 결과 탄성 저항을 이용한 훈련과 일반 훈련 모두 운동 전

과 비교하여 무릎 펌의 최대 속도가 증가했다. 그러나 탄성 저항과 일반 저항 훈련의 차이는 나타나지 않았다. 추가적으로 생체역학적 능력인 토크, 일량, 일률, 그리고 HQ% 모두 유의한 차이가 나타나지 않았다. 선행연구 결과, 탄성 저항을 적용한 저항 운동은 다른 운동을 시행하지 않은 대조군과 비교하여 생체역학적, 그리고 기능적 능력의 향상이 보고되었다.<sup>8,9</sup> 그리고 탄성 저항의 적용은 경제적, 기능적 편리함으로 인해 재활 목적으로 폭넓게 사용되고 있다.<sup>10</sup> 그러나 탄성 저항 훈련과 프리 웨이트 또는 저항 기계를 이용한 전통적인 저항 훈련의 근활성도는 저항 방법에 따라 유의한 차이가 나타나지 않았다.<sup>12</sup> 추가적으로 Lopes 등<sup>13</sup>은 탄성 저항 운동에 대한 계통적 고찰 연구에서 탄성 저항 운동은 전통적인 저항 훈련과 비슷하게 근력을 증가시킨다고 결론 내렸다.<sup>13</sup> 이론적으로 근육 기능을 증가시키기 위해서는 수행 체계에 대해 상대적으로 더 강한 요구가 필요하며 이것을 과부하 원리로 정의한다. 본 연구에서 적용된 두 가지의 훈련은 탄성 저항을 적용하는 것과 프리 웨이트 상태의 차이점이 있지만 모두 동일한 특정 과제가 시행되었다. 탄성 저항 훈련과 전통적인 저항 훈련인 등장성 저항 훈련 모두 최대 저항의 적용은 전체 운동범위 중 최소 지점에 대한 강도로 적용된다.<sup>30</sup> 따라서 근력을 높이기 위한 두 가지의 훈련 방법에 대해 각각 다른 과부하가 적용되었다고 보기는 어렵기 때문에 두 훈련 사이에 근력에 기초하는 최대 토크를 포함하여 생체역학적 특성에 유의한 차이는 없었던 것으로 사료된다. 추가적으로 본 연구 대상자는 태권도 평균 단중 수준이 3.65단이며, 평균 운동 경력이 9.4년으로 지속적으로 태권도와 관련된 기본 운동을 시행 중인 대상으로 본 실험의 중재 전 기간에도 운동을 해왔기 때문에 운동 전과의 비교에서도 유의한 차이가 없었던 것으로 여겨진다.

본 연구 결과 탄성 저항을 적용한 운동 조건에서는 동적 균형 능력을 반영하는 Y-균형 검사에서 뒤-안쪽과 뒤-가쪽 방향에 대한 능력이 유의하게 증가되었다. Y-균형 검사결과와 엉덩관절 펌 근력과 무릎 굽힘 근력은 모든 방향에 대해 양의 상관관계를 가지고 있지만 그 중 뒤쪽 방향은 가장 높은 상관관계가 보고되었다.<sup>21,31</sup> 본 연구의 훈련은 중력에 대해 신체의 중력중심점을 높이는 동작, 한발로 균형을 유지하고 무릎을 빠르게 굽히는 능력이 필요한 앞차기로 구성되었다. 따라서 탄성 저항 훈련과 일반 저항 훈련 모두 엉덩관절 펌과 무릎 굽힘 동작에 대한 근력 또는 유지 등의 수행 능력이 향상되었을 것으로 사료된다. 근력은 전체 관절운동범위의 움직임 동안 근육의 길이에 따라 변화한다. 이 변화에 대한 관절운동범위와 근력 관계에 대한 그래프는 종 모양으로 가운데 범위에서 가장 큰 근력이 발생된다.<sup>12</sup> 탄성 저항의 특징은 관절가동범위가 증가함에 따라 저항이 커진다는 것이다.<sup>10</sup> 다시 말해, 결과 탄성 저항 운동은 관절가동범위 끝 지점에서 강한 부하를 발생시킨다는 것이 전통적인 저항 운동과 다르다. 탄성 저항 운동을 적용한 발차기 관련 동작 분석 연구 결과 무

릎 펌의 가속 시간이 길어지면서 발의 속도가 3.3% 빨라졌다고 보고하였다.<sup>32</sup> 따라서 본 연구 결과 탄성 저항 훈련으로 근력을 반영하는 토크를 포함한 생체역학적 능력은 변화가 없지만 균형 능력이 증가한 이유는 해당 과제에 대한 수행 능력의 향상에 기인했다고 사료된다. 본 연구의 제한점은 다음 두 가지로 실험 결과와 해석에 영향을 미칠 수 있다. 첫째, 본 연구는 강건한 신체 능력이 있는 운동선수에게 탄성 운동의 효과를 확인하는 것을 목적으로 설계되었다. 대상자들은 태권도를 전공하는 대학생으로 운동 기량의 악영향으로 실험 설계에서 일반 운동과 탄성 운동 훈련 사이에 휴식 기간을 적용하지 못하였다. 그 결과 일반 운동의 이월 효과가 발생할 수 있다. 둘째, 본 연구는 대조군 없이 동일한 대상자에게 일반 운동과 탄성 운동을 적용한 반복 측정 실험 설계로 시행되었다. 그 이유는 본 연구의 예비 실험 결과 일반인과 태권도 운동선수 사이에 무릎의 생체역학 매개 변수와 기능적 능력이 운동 전 측정에서 훈련과 관계없이 매우 큰 통계적 유의한 차이가 나타났기 때문이었다. 후속 연구에서는 신체적 능력이 비슷한 대상자를 추가적으로 모집하여 집단에 따라 일반 운동과 탄성 운동 훈련을 각각 적용할 필요가 있다.

결론적으로, 본 연구는 강건한 신체 능력을 가지고 있는 대학생 태권도 선수들에 대한 생체역학적 기능과 하지 능력에 대한 정량적 정보를 수집하여 스포츠 물리치료 분야의 과학적 기초를 제공하고 있다. 그리고 탄성 저항 훈련이 대조군과 프리 웨이트 수준의 일반적 저항 훈련과 비교하여 근력과 관련된 요소보다 기능적 과제 수행에 더 긍정적인 효과가 있음을 규명하였다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 한국정부가 지원하는 한국연구재단의 연구비 지원을 받은 연구임(2020R1C1C1012483).

## REFERENCES

1. Frost DM, Beach TA, Callaghan JP et al. The influence of load and speed on individuals' movement behavior. *J Strength Cond Res.* 2015;(29):2417-25.
2. Lee DK, Kim YN. The effects of proprioceptive neuromuscular facilitation lower extremity pattern on muscular strength and flexibility in an aquatic environment. *J Kor Phys Ther.* 2013;25(2):49-55.
3. Han KJ, Choi BK. Comparison of the surface electromyographic signal of progressive resistance increase and progressive resistance decrease exercise. *J Kor Phys Ther.* 2008;20(1):11-6.
4. Crewther B, Cronin J, Keogh J. Possible stimuli for strength and power adaptation. *J Sports Med.* 2005;(35):967-89.
5. Colado JC, Ranulfo M, Joaquin C et al. Effects of strength training with variable elastic resistance across the lifespan: a systematic review. *Cul-*

- tura, *Ciencia Y Deporte*. 2020;15(44).
6. Spiering BA, Kraemer WJ, Anderson J et al. Manipulation of resistance exercise programme variables determines the responses of cellular and molecular signalling pathways. *Sports Med*. 2008;38(7):527-40.
  7. Kwak C, Kim YL, Lee SM. Effects of elastic-band resistance exercise on balance, mobility and gait function, flexibility and fall efficacy in elderly people. *J Phys Ther Sci*. 2016;28(11):3189-96.
  8. Suchomel TJ, Nimphius S, Bellon CR et al. The importance of muscular strength: training considerations. *J Sports Med*. 2018;(48):765-85.
  9. Hammami R, Gene-Morales J, Abed F et al. An eight-weeks resistance training programme with elastic band increases some performance-related parameters in pubertal male volleyball players. *Biol Sport*. 2022;39(1): 219-26.
  10. Page P, Ellenbecker TS. The scientific and clinical application of elastic resistance, Scottsdale, Arizona, Human Kinetics, 2003.
  11. Moglo KE, Shirazi-Adl A. Cruciate coupling and screw-home mechanism in passive knee joint during extension-flexion. *J Biomech*. 2005; 38(5):1075-83.
  12. Aboodarda SJ, Page PA, Behm DG. Muscle activation comparisons between elastic and isoinertial resistance: a meta-analysis. *Clin Biomech*. 2016;39:52-61.
  13. Lopes J, Machado AF, Micheletti J et al. Effects of training with elastic resistance versus conventional resistance on muscular strength: a systematic review and meta-analysis. *SAGE Open Med*. 2019;7:2050312119831116.
  14. Mentiplay BF, Banky M, Clark RA et al. Lower limb angular velocity during walking at various speeds. *Gait Posture*. 2018;(65):190-6.
  15. Grimmer M, Elshamhory AA, Beckerle P. Human lower limb joint biomechanics in daily life activities: a literature based requirement analysis for anthropomorphic robot design. *Front Robot AI*. 2020;7:13.
  16. Mulligan EP, Weber MD, Reinking MF. Competency revalidation study of specialty practice in sports physical therapy. *Int J Sports Phys Ther*. 2014;9(7):959.
  17. Moreira P, Falco C, Menegaldo L et al. Are isokinetic leg torques and kick velocity reliable predictors of competitive level in taekwondo athletes? *PLoS One*. 2021;16(6):e0235582.
  18. Iglesias-Soler E, Fariñas J, Mayo X et al. Comparison of different regression models to fit the force-velocity relationship of a knee extension exercise. *Sports Biomech*. 2019;18(2):174-89.
  19. Yu C, Chang S. The isokinetic evaluation of knee extensors and flexors in the normal subjects for those twenties. *J Kor Phys Ther*. 2013;25(4): 167-73.
  20. Shin Y, Yoon T. The short term effects of ankle strengthening emphasis with jumping on strength, mechanical properties, and balance with and without wearing high heel in ankle instability. *J Kor Phys Ther*. 2019; 31(4):176-83.
  21. Lee D, Kim G, Ha S et al. Correlation of the Y-balance test with lower-limb strength of adult women. *J Phys Ther Sci*. 2014;26(5):641-3.
  22. Cramer JT, Housh TJ, Johnson G et al. Mechanomyographic amplitude and mean power output during maximal, concentric, isokinetic muscle actions. *Muscle Nerve*. 2000;23(12):1826-31.
  23. Cramer JT, Housh TJ, Weir JP et al. Power output, mechanomyographic, and electromyographic responses to maximal, concentric, isokinetic muscle actions in men and women. *J Strength Cond Res*. 2002;16(3): 399-408.
  24. Kurdak SS, Ozgünen K, Adas U et al. Analysis of isokinetic knee extension/flexion in male elite adolescent wrestlers. *J Sports Sci Med*. 2005; 4(4):489-98.
  25. Seger JY, Thorstenson A. Muscle strength and myoelectric activity in prepubertal and adult males and females. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1994;69:81-7.
  26. Webber SC, Porter MM. Reliability of ankle isometric, isotonic, and isokinetic strength and power testing in older women. *Phys Ther*. 2010; 90(8):1165-75.
  27. Vandewalle H, Peres G, Heller J et al. Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1987;(56):650-6.
  28. Hewett TE, Myer GD, Zazulak BT. Hamstrings to quadriceps peak torque ratios diverge between sexes with increasing isokinetic angular velocity. *J Sci Med Sport*. 2008;11(5):452-9.
  29. Knapik JJ, Bauman CL, Jones BH et al. Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. *Am J Sports Med*. 1991;19(1):76-81.
  30. Hewett TE, Myer GD, Ford KR. Decrease in neuromuscular control about the knee with maturation in female athletes. *J Bone Jt Surg*. 2004; 86(8):1601-8.
  31. Purkayastha S, Cramer JT, Trowbridge CA et al. Surface electromyographic amplitude-to-work ratios during isokinetic and isotonic muscle actions. *J Athl Train*. 2006;41(3):314.
  32. Aandahl HS, Von Heimburg E, Van den Tillaar R. Effect of postactivation potentiation induced by elastic resistance on kinematics and performance in a roundhouse kick of trained martial arts practitioners. *J Strength Cond Res*. 2018;32(4):990-6.