KJAB
Korean Journal of Applied Biomechanics 2025; 35(2): 88-97
http://dx.doi.org/10.5103/KJAB.2025.35.2.88
http://e-kjab.org eISSN 2093-9752
ORIGINAL

Biomechanical Analysis of Different Inertial Resistance during Landing of Jump Squat exercise of Taekwondo athletes

태권도 선수의 점프 스쿼트 착지 동작에서 관성 변화에 따른 운동역학적 효과 분석

Deuk-Gon Lee, Jae-Hu Jung, Woen-Sik Chae

Department of Physical Education, Kyungpook National University, Daegu, South Korea

Received : 05 March 2025
Revised : 22 April 2025
Accepted : 23 April 2025

Objective: The purpose of this study was to investigate the effectiveness of aquabag training by examining the biomechanics of the landing phase during jump squats, with a focus on changes in inertia. In addition, the study aimed to provide guidelines for efficient landing mechanics in Taekwondo players.

Method: For this study, 10 Taekwondo players (age 19.6 ± 0.7 yrs, height 174.5 ± 3.7 cm, weight 69 ± 8.6 kg, career 14.8 ± 0.9 yrs) with no musculoskeletal disorders and experience in national-level competitions were selected as participants. Surface electromyography (QEMG8, Laxtha Inc., Korea) was used to measure muscle activation of the left thigh muscles (rectus femoris, biceps femoris) and shank muscles (tibialis anterior, medial gastrocnemius), gluteus muscles (gluteus medius, gluteus maximus) and left core muscles (rectus abdominis, erector spinae), with two force platforms (AMTI, OR6-5) used to analyze ground reaction forces. The participants were divided into two groups using aquabag and barbell during jump squat exercises, with the exercise order randomized. Statistical differences in the electromyography and ground reaction force data between the groups were tested using SPSS 29.0, and paired *t*-tests were conducted to verify statistical significance (p<.05).

Results: The results of this study were as follows. First, The aquabag group exhibited a significantly higher maximum integrated electromyography (iEMG) value for the rectus femoris (p=.027). There were no significant differences between the groups in terms of load rate during landing, but the barbell group showed a tendency for a relative decrease. Although there was no statistically significant difference in the joint angular velocity, the aquabag group tended to show an increase. The knee joint angle at the MF point was significantly higher in the aquabag group than in the barbell group (p=.002).

Conclusion: The results suggest that using the aquabag in jump squat landing movements increases muscle activation by generating resistance through the incompressible nature of water, making it effective for landing training in environments similar to Taekwondo practice. The aquabag, with its fluctuating resistance, promotes unstable landings compared to the barbell, potentially improving athletes adaptation to real-world conditions. It may aid Taekwondo athletes in enhancing landing mechanics and preparing for instability.

Keywords: Jump squat, Aquabag, GRF, Taekwondo, EMG

Corresponding Author
Woen-Sik Chae
Department of Physical Education, Kyungpook National University, 80 Daehak-ro, Buk-gu, Daegu, 41566, South Korea
Email : wschae@knu.ac.kr

Copyright © 2025 Korean Journal of Applied Biomechanics
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 noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

INTRODUCTION

우리나라 국기태권도는 초기에 수련의 목적으로 주로 행해지다가 현대에 들어와 태권도 종목이 경기화 되었다. 과거 겨루기 종목만 대중들에게 경기 스포츠로 알려져 왔지만, 최근 품새와 격파 종목도 경기 스포츠로써 인기를 끌고 있다(Jung & Kim, 2015). 태권도 격파는 높이 뛰기, 멀리 뛰기와 같이 한 발 또는 두 발로 지면을 밀어내 충분한 체공시간을 확보하고, 격파물 타격 시 신체 분절의 선 속도를 증가시켜 순간적으로 타격하고 착지하는 동작으로 운동량이 큰 고난이도 기술이다(Sung, 2001).

기술 격파는 체공상태에서 격파물 타격 시 신체를 신전시키는 파이크(piked)와 스트레치(stretched) 동작으로 인해 신체의 무게중심은 급격하게 변하게 되고 착지에 큰 영향을 미친다(Davis, Hinshaw, Critchley & Dai, 2019; Kang, 2018). 격파물 타격 순간 발생되는 신체중심의 불규칙한 변화와 착지 순간 슬관절 외반과 내회전 같은 복합적 움직임에 의해 태권도 격파 선수들에게 전방십자인대 상해는 흔하게 발생된다(Jamison, Pan & Chaudhari, 2012). 태권도 격파 종목의 특성상 손보다는 발기술 사용이 많이 때문에 상체보다 하체의 위험도가 높으며, 도약과 착지하는 과정에서 부상의 빈도가 높다(Jung & Jeon, 2021; Kim, 2018; Ko, Kim & Ji, 2012; Park, Kwon & Lee, 2016).

Jung (2013)은 태권도 격파 선수는 높은 곳에서 위치한 격파물을 타격 시 운동량의 변화가 매우 크기 때문에 불안정한 조건에서 착지를 하게 되기 때문에 충분한 체공시간을 확보해야 안정적인 착지가 이루어진다고 하였다. 이렇게 태권도 격파 선수의 격파 후 착지 시 하지 안정성 확보는 부상 예방을 위해 매우 중요한 요인으로 판단된다. 운동 선수에게 있어 부상은 경기력 저하와 아주 밀접한 연관이 있으며, 부상 회복을 위한 적절한 재활 운동이 이루어지지 않을 경우 선수 생활을 이어갈 수 없는 최악의 상황이 야기될 수 있다(Jeong, Kim & Kim, 2010). 따라서 상해 예방과 현장 복귀 시간을 단축하기 위해 정확한 부상 진단과 재활이 중요하다(Kim, An & Lee, 2014).

최근 현장에서는 예측하기 어려운 외부작용에 대비하기 위해 현장과 유사한 환경을 조성한 선수 트레이닝의 방법으로 물의 관성을 이용한 아쿠아백 트레이닝이 인기를 끌고 있다(Siff, 2002; Wezenbeek et al., 2022). Calatayud 등 (2015)은 클린 앤 저크 동작 시 아쿠아백을 활용한 집단이 샌드백을 활용한 집단에 비해 코어근육을 높게 활성화시킨 것으로 보고하였다. 또한, Kang, Lee와 Park (2023)은 배드민턴 선수의 푸쉬 동작 시 워터백 조끼를 착용은 빠른 중력중심의 변화로, 자주 사용하지 않는 소 근육의 활성도를 높여 슬관절의 안정성에 기여할 수 있는 것으로 보고하였으며, Lee와 Kang (2023)은 펜싱 선수의 팡트(Fente) 동작에서 워터백 조끼를 착용한 집단이 하지 및 체간의 근활성도를 증가시킨 것으로 보고하였다. 위에서 언급한 선행연구 결과를 통해 아쿠아백의 효과를 증명하였으며, 스포츠 현장과 유사한 환경을 조성하기 위한 도구로 아쿠아백을 사용하였다.

태권도 종목에서도 아쿠아백 트레이닝이 발차기 파워 및 스피드 향상(Park & Kim, 2021), 균형 능력 향상(Park & Kim, 2023) 측면의 연구들이 수행되어져 왔으나, 아쿠아백 도구가 부상의 위험도가 매우 높은 태권도 격파 선수의 착지에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 아쿠아백과 바벨을 활용한 점프 스쿼트 동작(격파 후 착지 동작과 가장 유사한 동작)의 착지 시 근활성도와 지면반력에 어떠한 영향을 미치는지 비교 분석하고자 한다. 또한, 동작분석을 통해 시점별 관절 각도와 각속도를 비교 분석하여 착지 시 하지 안정성에 어떠한 영향을 미치는지 밝혀냄으로써 새로운 훈련법으로 각광받고 있는 아쿠아백 운동의 효용성을 판단하고 태권도 격파 선수의 효율적인 착지 동작에 도움이 될 수 있는 자료를 제공하고자 한다.

METHOD

1. 연구대상자

본 연구에서는 점프 스쿼트 동작 시 관성 변화가 착지 동작에 미치는 영향을 비교 분석하기 위해 D광역시에 위치한 K대학 태권도 시범단원 중 국가대표 및 전국대회 출전 경험이 있는 숙련자로 인체 근골격계에 이상이 없는 남자 격파 선수 10명(나이 19.6±0.7 yrs, 신장 174.5±3.7 cm, 체중 69±8.6 kg, 경력 14.8±0.9 yrs)을 피험자로 선정하였다(Table 1).

Table 1. Characteristics of subjects (N=10)

Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	Career (yrs)
19.6±0.7	174.5±3.7	69.0±8.6	14.8±0.9

2. 실험장비

1) 도구 종류

본 실험에서는 점프 스쿼트 후 착지 동작 시 피험자들의 관성 저항을 위해 원통형 아쿠아백(200 mm × 850 mm × 25 kg max), 중량바(50 mm × 1,300 mm × 10.5 kg), 경량바(28 mm × 1,300 mm × 6.3 kg), 원판(50 mm × 2.5 kg), 원판(28 mm × 2.5 kg)을 피험자 체중의 25% 무게로 조절하여 사

용하였다(Figure 1).

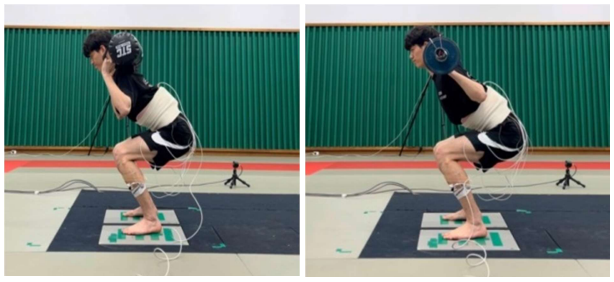


Figure 1. A tool for inertial change aquabag (left) and barbell (right)

2) 근전도 검사

대퇴근육 및 코어근육의 근활성도 측정을 위해 근전도 측정기기(QEMG8, Laxtha Inc, Korea)를 사용 하였으며, 표면 전극을 근섬유의 수축 방향과 평행되도록 한 후, 피험자의 좌측 하지 6부위, 전경골근(tibialis anterior), 내측 비복근(gastrocnemius medial), 대퇴직근(rectus femoris), 대퇴이두근(biceps femoris), 중둔근(gluteus medius), 대둔근(gluteus maximus)과 좌측 체간 2부위, 복직근(rectus abdominis), 척추기립근(erector spinae)에 부착하였다(Table 2). 부착 위치는 피험자는 우측 발을 사용하는 선수들로 지지발이 되는 좌측 부위로 선정하였다. 접지 전극은 상전장골극(anterior superior iliac spine)에 부착하였다(U. S. Department of Health and Human Service, 1993).

본 연구에서는 점프 스쿼트 동작의 착지 시 구간 설정과 3차원 동작분석을 위해 디지털 캠코더(Sony HDR-HC9, 60 fiel/s) 3대를 피험자의 전중앙 방향, 좌우 방향 5 m 지점에 설치하여 촬영하였으며, 3차원 동작분석은 Kwon3D program (version 3.10)을 사용하였다. 지면반력과 부하율(loading rate)을 분석하기 위해 지면반력기(AMTI, OR6-5) 2대를 사용하였으며<Figure 2>, 통제점 및 발광마커를 양측에 부착하여 인체의 각 관절점의 3차원 좌표값을 얻기 위해 직접 선형 변환 방법(Direct Linear transformation, Abdel-Aziz & Karara, 1971)을 사용하였다.

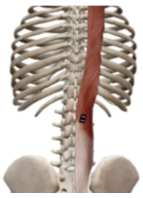
3. 실험절차

본 연구의 피험자들은 실험을 시작하기에 앞서 피로를 유

Table 2. MVIC Measurement method and electrode placements

Muscle		MVIC Measurement method	Electrode placements
전경골근 (tibialis anterior)	dorsiflexion	Standing upright. Resistance is applied vertically downward from above the shoulders.	
비복근 (gastrocnemius)	plantarflexion	Seated on a chair with the tibia positioned vertically. Resistance is applied vertically downward at the toes.	
대퇴직근 (rectus femoris)	knee extension	Sit in a chair and position the tibia vertically. Resistance is applied backward at the front of the ankle.	

Table 2. MVIC Measurement method and electrode placements (Continued)

Muscle		MVIC Measurement method	Electrode placements
대퇴이두근 (biceps femoris)	knee flexion	Sit in a chair and position the tibia vertically. Resistance is applied forward at the back of the ankle.	
중둔근 (gluteus medius)	hip abduction	Lying on the side, the knee joint was external rotated around the hip joint. Resistance was applied vertically downward at the knee joint.	
복직근 (rectus abdominis)	crunch position	Lie flat on your back and raise your upper body around the hip joint, lifting the scapula off the ground. Resistance is applied vertically downward at both shoulders.	
척추기립근 (erector spinae)	back extension	Lie prone and lift the upper body around the hip joint. Resistance is applied vertically downward at both shoulders.	
대둔근 (gluteus maximus)	hip extension	Lie prone and lift the femur around the hip joint. Resistance is applied vertically downward at the femur.	

발시킬 수 있는 신체활동을 금지하였고, 실험에 대한 이해도를 높이기 위해 모든 피험자들은 2회의 연습을 실시하였다. 점프 스쿼트 동작은 허리를 곧게 펴고 다리를 어깨너비로 벌린 상태에서 슬관절과 고관절을 굴곡 후 신전시켜 점프한다. 착지 후 원래의 자세로 돌아오도록 수행하였다. 또한, 착지과정에서 신체에 부하되는 충격력을 비교하기 위해 아쿠아백의 관성을 최대로 활용할 수 있는 피험자의 최대 점프로 하였다. 본 실험에서는 점프 스쿼트 동작의 착지 시 관성 변화 차이를 비교 분석하기 위해 아쿠아백과 경, 중량바를 사용하였다.

도구의 무게는 체중의 25% 무게가 스포츠 선수들의 폭발적인 점프에 효과적이라는 Trepin (2010)의 연구를 참고하여 피험자 체중의 25% 무게로 설정하여 아쿠아백과 바벨을 이용한 점프 스쿼트 동작의 두 집단으로 구분하였다. 두 가지 조건에 대해 무작위 순으로 운동을 실시하였으며, 각 조건별 운동 수행은 20초간 단일 동작으로 3회 실시하였다. 또한, 1회 동작마다 동작에 대한 피드백을 주었으며, 3회 동작에 대한 평균 값을 제시하였다. 또한, 근육의 피로를 줄이기 위하여 두 가지 측정 조건 사이에 5분의 휴식을 제공하였다. 실

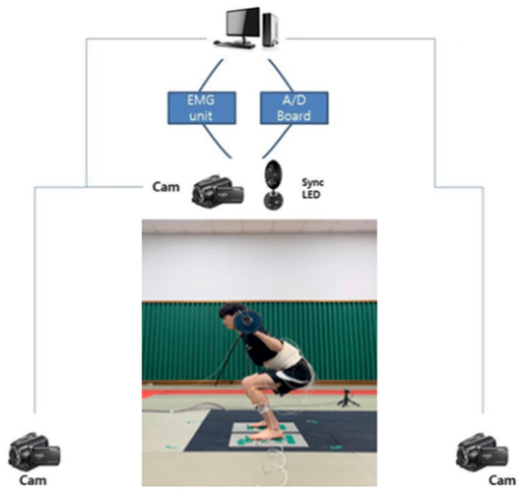


Figure 2. A view of the experimental setup

험 중 피부 저항을 최소화하기 위해 전극 부착 부위의 털을 제거한 후, 알코올 솜을 이용하여 부착 부위를 닦고 젤 타입의 전극을 부착하였다.

4. 자료분석

1) 주요 시점 및 구간 설정

점프 스쿼트 동작의 착지 시 아쿠아백과 바벨 활용에 따른 대퇴근육 및 코어근육의 근활성도와 지면반력 및 부하율 차이를 비교·분석하기 위해 2개의 시점(event)과 1개의 구간(phase)으로 나누어 분석하였다. 두 발이 지면에 닿는 착지 시점(landing, LD) 착지 후 대퇴와 하퇴가 이루는 각도가 최소가 되는 최대 굴곡 시점(maximum knee flexion, MF)으로 설정하였으며, LD 시점과 MF 시점 사이를 착지구간(landing phase, LP)으로 설정하여 구간별 자료를 분석하였다(Figure 3).

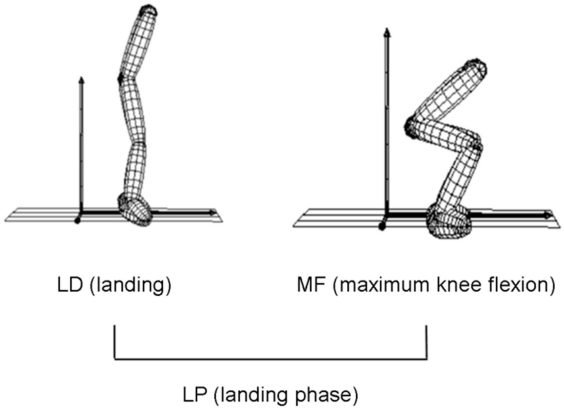


Figure 3. 시점(events)과 구간(phase)

2) 근전도 분석

근전도 데이터의 일반화 작업을 위해서 실험 전 최대 수의적 정적 수축(maximal voluntary isometric contraction; MVIC)을 측정하였으며, 모든 근전도 자료는 샘플링 속도 1,024 Hz로 수집하였다. 점프 스쿼트 동작 시 수집된 근전도 자료는 350 Hz의 저역 통과 필터링과 10 Hz의 고역 통과 필터링을 한 후 전파 정류 처리하였다. 이후 아래의 공식을 통해 점프 스쿼트 동작 시 측정된 근전도 자료를 근육별 MVIC 값으로 표준화하여 구간별 평균 및 최대 적분근전도 값을 산출하였다. 평균 적분근전도는 실제 점프 스쿼트 동작 시 측정된 근전도 값을 MVIC 값으로 나눈 후 특정 구간의 평균 값을 제시하였으며, 최대 적분근전도는 실제 점프 스쿼트 동작 시 측정된 근전도 값을 MVIC 값으로 나눈 후 특정 구간 내에서 50 ms 이동 평균(moving average)을 통해 산출한 자료 중 최대값을 제시하였다. 각 구간별 근전도 값은 3회 동작에 대한 평균 값을 제시하였다.

$$nEMG = \frac{EMG_{raw}}{EMG_{max}} \times 100$$

*nEMG*는 표준화된 적분근전도 값, EMG_{raw}는 점프 스쿼트 동작 시 특정 구간의 근전도 값, EMG_{max}는 최대 정적 수축 근전도 값이다.

3) 지면반력 및 부하율

지면반력기를 통해 얻어진 데이터를 통해 좌우(F_x), 전후(F_y), 수직(F_z) 방향의 지면반력 값을 분석하였으며, 모든 지면반력 자료는 샘플링 속도 1,000 Hz로 수집하였다. 측정된 수직 지면반력 자료를 사용하여 착지구간의 최대 수직반력(Peak VGRF)과 부하율(loading rate)을 계산하였다. Loading rate ($\times BW/sec$) = (Fz_{max} / Fz_{max} × reached time) Fz_{max}는 발의 지면 착지 시 발생하는 최대 수직반력 값(impact peak, N), Fz_{max} reached time은 발의 지면 착지 순간으로부터 최대 수직반력 시점까지 걸린 시간(impact peak time, sec)을 말한다.

4) 동작분석

3차원 동작분석은 Kwon3D program version 3.10을 사용하였다. 통제점 및 발광마커를 양측에 부착하여 인체의 각

관절점의 3차원 좌표값을 얻기 위해 직접 선형 변환 방법(Direct Linear transformation, Abdel-Aziz & Karara, 1971)을 사용하였다. 영상 좌표화 과정에서 나타나는 노이즈(noise)를 최소화하기 위해서 2차 Butterworth low-pass digital filter를 사용하였으며, 이때 차단주파수는 6 Hz로 설정하였으며, 모든 동작분석 자료는 샘플링 속도 60 Hz로 수집하였다. 본 연구에서는 X축 방향을 좌우축, Y축 방향을 전후축, Z축 방향을 수직축으로 설정하였다.

5. 통계처리

본 연구에서는 점프 스쿼트 동작의 착지 시 아쿠아백과 바벨 활용에 따른 근전도 값의 통계적 유의차를 검증하기 위해 SPSS 29.0 프로그램을 사용하였다. 근수축 형태에 따른 분석 변인들의 통계적 유의차를 검증하기 위해 대응 표본 t 검정(paired t-test)을 실시하였으며, 윌콕슨 순위합검정(Wilcoxon Rank-Sum Test)을 통해 정규분포 검정을 실시하였다. 또한, 모든 검증의 유의성 수준은 p<.05로 설정하였다.

RESULTS

점프 스쿼트 동작의 착지 시 아쿠아백과 바벨 활용하여 관성 변화에 따른 좌측 전경골근, 내측 비복근, 대퇴직근, 대퇴이두근, 중둔근, 복직근, 척추기립근, 대둔근에 대한 평균 및 최대 적분근전도 값을 측정한 결과는 다음과 같다(Table 3).

대퇴직근을 제외한 모든 근육에서 통계적 유의차는 나타나

Table 3. Average and peak IEMG of the landing phase (%MVIC)

	Average and peak IEMG	Aquabag	Barbell	t	p
tibialis anterior	AVERAGE IEMG	40.7±13.7	45.1±10.8	-1.357	.208
	PEAK IEMG	78.0±19.9	72.6±14.7	1.218	.254
gastrocnemius medial	AVERAGE IEMG	16.5±12.5	12.9±4.1	1.042	.324
	PEAK IEMG	67.4±36.0	63.5±27.4	.408	.693
rectus femoris	AVERAGE IEMG	32.3±10.7	29.8±10.3	1.128	.289
	PEAK IEMG	78.6±25.9	57.8±16.3	2.634	.027*
biceps femoris	AVERAGE IEMG	16.6±8.9	19.4±12.2	-1.171	.272
	PEAK IEMG	46.9±33.2	58.9±47.3	-1.174	.271
gluteus medius	AVERAGE IEMG	16.2±10.9	14.3±11.8	.846	.419
	PEAK IEMG	51.5±40.0	40.5±38.6	1.611	.142
rectus abdominis	AVERAGE IEMG	5.3±4.8	4.3±2.9	.957	.364
	PEAK IEMG	17.1±16.4	8.7±6.1	1.967	.081
erector spinae	AVERAGE IEMG	30.5±16.5	36.7±18.4	-1.923	.087
	PEAK IEMG	65.4±46.3	69.3±37.1	-.476	.645
gluteus maximus	AVERAGE IEMG	17.9±9.6	15.7±7.7	.826	.430
	PEAK IEMG	59.4±40.1	50.5±31.2	.765	.464

Note. *significant difference between Aquabag and Bar

Table 4. Impact peak and loading rate of the landing phase

Landing phase	Aquabag	Barbell	t	p
Fz_{max} (×BW)	2.9±1.1	3.0±0.9	-.396	.701
Loading rate (× BW/sec)	53.3±38.6	44.9±22.1	.980	.353

Table 5. Joint angle of the landing phase (deg)

		Aquabag	Barbell	*t*	*p*
Trunk	LD	12.3±5.2	12.0±5.6	.256	.804
	MF	39.0±10.9	38.5±8.5	.367	.722
Hip	LD	150.6±5.7	150.1±6.2	.409	.692
	MF	77.6±16.3	73.8±12.8	1.498	.168
Knee	LD	159.6±4.9	161.0±4.4	-1.063	.315
	MF	84.0±7.4	76.0±5.0	4.175	.002**
Ankle	LD	104.6±6.7	107.8±4.0	-1.451	.181
	MF	58.3±4.3	56.1±6.4	1.423	.189

Note. **significant difference between Aquabag and Bar

Table 6. Angular velocity of the landing phase (deg/s)

		Aquabag	Barbell	*t*	*p*
Trunk	LD	49.3±18.3	43.7±10.2	.916	.383
	MF	12.1±19.7	3.2±11.5	1.158	.276
Hip	LD	-171.7±54.1	-140.1±40.2	-1.585	.147
	MF	-15.0±30.6	-3.8±12.2	-1.188	.265
Knee	LD	-362.6±58.9	-345.8±43.3	-.854	.415
	MF	2.9±24.2	-0.1±12.9	.381	.712
Ankle	LD	-496.7±88.1	-524.1±83.7	1.270	.236
	MF	10.5±26.5	-4.3±20.9	1.277	.233

지 않았다. 전경골근, 비복근, 대퇴직근, 중둔근, 복직근, 대둔근의 경우 아쿠아백을 활용한 집단이 바벨을 활용한 집단보다 높은 경향으로 나타났으나 대퇴이두근과 척추기립근의 경우는 바벨을 활용한 집단이 높아 반대의 경향으로 나타났다. 대퇴직근의 경우 최대 적분근전도 값이 아쿠아백을 활용한 집단이 통계적으로 유의하게(p=.027) 높게 나타났다.

착지구간의 최대 수직반력 값 및 부하율과 각속도는 두 집간 간 유의한 차이가 없었다(Table 4, Table 6). 또한, 착지구간의 MF 시점에서 슬관절 각도는 아쿠아백 활용 점프 스쿼트가 바벨 활용 점프 스쿼트에 비해 통계적으로 유의하게(p=.002) 높게 나타났다(Table 5).

DISCUSSION

본 연구의 목적은 태권도 격파 선수의 점프 스쿼트 동작의 착지 시 관성 변화에 따른 운동역학적 분석을 통해 아쿠아백을 활용한 운동의 효용성을 판단하고 태권도 선수들의 효율적인 착지를 위한 기준점을 마련하고자 하였다. 본 연구에서는 관성 변화를 위해 아쿠아백과 바벨을 피험자 체중의 25% 무게로 적용시켜 운동을 실시하였다. 좌측 하지근육의 전경골근, 내측 비복근, 대퇴직근, 대퇴이두근, 중둔근, 대둔근 6부위와 좌측 코어근육의 복직근, 척추기립근 2부위, 총 8부위의 근활성도와 지면반력을 비교 분석하였다.

근활성도를 분석한 결과 대퇴직근을 제외한 모든 근육에서 통계적 유의차는 나타나지 않았다. 전경골근, 비복근, 대퇴직근, 중둔근, 복직근, 대둔근의 경우 아쿠아백을 활용한 점프 스쿼트 동작의 착지 시 바벨을 활용한 동작보다 높은 경향으로 나타났으나 대퇴이두근과 척추기립근의 경우는 반대의 경향으로 나타났다. 대퇴직근의 경우 최대 적분근전도 값이 아쿠아백을 활용한 집단이 통계적으로 유의하게(p=.027) 높게 나타났다. 착지 시 발목의 배측 굴곡과 슬관절 움직임이 감소하면 충격과 상해 위험을 줄이기 위한 보상작용으로 고관절

굴곡근의 활성도가 높게 나타난다(Han, Lee, Son & Hopkins, 2023; Hoch, Farwell, Gaven & Weinhandl, 2015). Walsh, Boling, McGrath, Blackburn과 Padua (2012)는 점프 후 착지 시 감속 단계에서 대퇴사두근의 활성도가 증가하면 움직임 전반에 걸쳐 슬관절 굴곡 움직임이 제한되고 감소된 슬관절 굴곡은 전방십자인대 부하가 커져 부상을 입을 위험이 높다고 보고하였다. 슬관절 굴곡근인 대퇴이두근은 초기 착지 순간 안전한 착지를 유도하고 충격을 흡수하는 역할을 하며(Ambegaonkar, Shultz & Perrin, 2011), 슬관절의 각도가 감소됨에 따라 몸통의 안정화를 위해 대퇴이두근과 함께 척추기립근의 활성도가 높게 나타나 본 연구결과를 뒷받침하고 있다(Iida, Kanehisa, Inaba & Nakazawa, 2011). 따라서 아쿠아백을 활용한 집단은 착지 시 감속단계에서 슬관절과 발목 관절 움직임이 제한이 뻣뻣한 착지로 이어졌으며, 대퇴사두근의 활성도가 높게 나타난 것으로 사료된다. 바벨을 활용한 집단은 안정된 착지 동작으로 이어져 슬관절 굴곡근인 대퇴이두근이 활성화되어 아쿠아백에 비해 비교적으로 착지에 대한 안정성이 확보된 것으로 판단된다.

지면반력 결과를 살펴보면, 착지 시 부하율은 집단 간 통계적인 유의차가 없었지만 바벨을 활용한 집단이 상대적으로 감소되는 경향을 보였다. 이러한 결과는 아쿠아백과 바벨의 무게를 피험자 체중 25%로 동일하게 적용하여 아쿠아백 내부의 물 관성이 피험자의 하지 관절 범위를 변화시켜 지면반력 값과 부하율의 차이를 나타낼 만큼 작용하지 않았기 때문에 두 집단 간 유의차가 나타나지 않은 것으로 판단된다. 관절 각도는 MF 시점의 슬관절 각도가 아쿠아백을 활용한 집단이 바벨을 활용한 집단보다 통계적으로 유의하게(p=.002) 높게 나타났다. 이는 아쿠아백의 내부 물 관성 저항이 착지 시 불안정한 착지를 유도한 것으로 판단된다. Devita와 Skelly (1992)는 관절 범위가 제한된 뻣뻣한 착지 동작 시 흡수되는 에너지는 각각 20%, 31%, 50%로 나타나 불안정한 착지는 발목 관절에 큰 영향을 미친다고 하였다. 또한, Decker, Torry, Wyland, Sterett과 Steadman (2003)은 착지 시 발목 관절과 슬관절의 가동범 위가 증가하면 충격력을 줄이기 위해 슬관절 신전근인 대퇴직근이 활성화되고 이는 발목 관절과 슬관절의 굴곡 움직임에서 각속도가 증가하여, 감속단계에서 관절의 휴식을 위해 슬관절 신전근인 대퇴직근과 발목 족저굴곡근인 비복근이 활성화 된다고 하였다. Yu, Lin과 Garrett (2006)은 초기 접촉 시 슬관절의 각속도는 수직 방향의 지면반력에 큰 영향을 미치기 때문에 각속도를 증가시켜 충격력을 완화시키는 전략을 보인다 하였다. 따라서 아쿠아백의 물 관성이 불안정한 착지를 유도하여 지면으로부터 전달되는 충격력이 증가되었으며, 증가된 충격력을 완화시키기 위해 슬관절의 각속도를 증가시켜 외부 충격력을 분산시키는데 기여한 것으로 사료된다.

본 연구를 통해 아쿠아백을 활용한 점프 스쿼트 동작은 물의 관성 변화 유발이 불안정한 착지를 유도하였다. 이는 착지 초기 관절의 운동 범위가 제한되어 뻣뻣한 동작으로 이어졌으며, 외부에서 발생되는 충격력을 완화시키기 위해 관절의 각속도를 증가시키는 전략으로 나타났다. 아쿠아백 내부에 존재하는 물 저항은 동작이 클수록, 관성의 발생이 증가하고 다양한 방향으로 관성 변화가 나타나는 특성을 가지고 있다. 본 연구의 결과는 점프 스쿼트 착지 동작에서 아쿠아백 사용이 물의 비압축성 특성으로 인해 저항을 발생시켜 근육 자극이 증가하며 태권도 현장과 유사한 환경의 착지 훈련으로 효과적임을 시사한다. 반면, 바벨 사용은 고정된 무게로 운동을 수행하기 때문에 물처럼 변동적인 저항을 제공하지 않아 더 안정적인 착지가 이루어진 것으로 사료된다. 따라서, 아쿠아백을 활용한 점프 스쿼트 동작은 안정적인 착지가 필수적인 태권도 선수에게 현장과 유사한 환경을 조성하여 불안정한 상황에서 대비할 수 있는 효율적인 착지 메커니즘을 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 후속 연구에서는 아쿠아백의 관성 저항 변화가 시상면에 국한되지 않고 관상면과 횡단면 움직임을 포함한 3차원 공간에서의 다이나믹한 동작을 비교 분석함으로써 아쿠아백의 다양한 운동 방법과 특성을 더욱 명확히 밝혀 낼 수 있을 것이다. 또한, 이러한 결과를 통해 엘리트 선수들의 기술 수행 능력 향상 뿐만 아니라 상해 이후 재활 훈련에 도움이 될 수 있는 방법을 모색할 수 있을 것으로 사료된다.

CONCLUSION

본 연구는 국가대표 및 전국대회 출전 경험이 있는 숙련자로 인체 근골격계에 이상이 없는 남자 태권도 선수 10명을 대상으로 점프 스쿼트 동작의 착지 시 관성 변화에 따른 운동역학적 분석을 통해 아쿠아백을 활용한 운동의 효용성을 판단하고 태권도 선수들의 효율적인 착지 동작을 위한 기준점을 제시하는데 있다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 대퇴직근을 제외한 다른 근육들은 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 전경골근, 비복근, 대퇴직근, 중둔근, 복직근, 대둔근에서는 아쿠아백을 활용한 집단이 바벨을 활용한 집단보다 높은 경향을 보였으나, 대퇴이두근과 척추기립근에서는 반대의 경향이 나타났다. 대퇴직근에서 아쿠아백을 활용한 집단이 최대 적분근전도 값에서 통계적으로 유의미한 차이를 보였다(p=.027).

둘째, 착지 시 부하율은 집단 간 통계적인 유의차가 없었지만 바벨을 활용한 집단이 상대적으로 감소되는 경향을 보였으며, 각 관절의 각속도는 집단 간 통계적인 유의차가 없었지만 아쿠아백을 활용한 집단이 증가하는 경향을 보였다. 슬관

절 각도는 MF 시점에서 아쿠아백을 활용한 집단이 바벨을 활용한 집단보다 통계적으로 유의미하게(p=.002) 높았다.

이러한 결과는 점프 스쿼트 착지 동작에서 아쿠아백 사용이 물의 비압축성 특성으로 인해 저항을 발생시켜 근육 자극을 증가시키며, 태권도 현장과 유사한 환경에서 착지 훈련에 효과적임을 시사한다. 반면, 바벨 사용은 고정된 무게로 운동을 수행하기 때문에 물처럼 변동적인 저항을 제공하지 않아 더 안정적인 착지가 이루어진 것으로 보인다. 따라서, 아쿠아백을 활용한 점프 스쿼트 동작은 안정적인 착지가 중요한 태권도 선수에게 현장과 유사한 환경을 조성하여 불안정한 상황에서 대비할 수 있는 효율적인 착지 메커니즘을 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 후속 연구에서는 아쿠아백의 관성 저항 변화가 시상면에 국한되지 않고 관상면과 횡단면 움직임을 포함한 3차원 공간에서의 다이나믹한 동작을 비교 분석함으로써 아쿠아백의 다양한 운동 방법과 특성을 더욱 명확히 밝혀 낼 수 있을 것이다. 또한, 이러한 결과를 통해 엘리트 선수들의 기술 수행 능력 향상 뿐만 아니라 상해 이후 재활 훈련에 도움이 될 수 있는 방법을 모색할 수 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

Abdel-Aziz, Y. & Karara, H. M. (1971). *Direct linear transformation from comparator coordinates in object-space coordinates in close range photogrammetry.* Proceedings of the ASP Symposium of Close-Range Photogrammetry. Urbana: University of Illinois.

Ambegaonkar, J. P., Shultz, S. J. & Perrin, D. H. (2011). A subsequent movement alters lower extremity muscle activity and kinetics in drop jumps vs. drop landings. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, *25*(10), 2781-2788.

Calatayud, J., Colado, J. C., Martin, F., Casaña, J., Jakobsen, M. D. & Andersen, L. L. (2015). Core muscle activity during the clean and jerk lift with barbell versus sandbags and water bags. *International Journal of Sports Physical Therapy*, *10*(6), 803.

Davis, D. J., Hinshaw, T. J., Critchley, M. L. & Dai, B. (2019). Midflight trunk flexion and extension altered segment and lower extremity joint movements and subsequent landing mechanics. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *22*(8), 955-961.

Decker, M. J., Torry, M. R., Wyland, D. J., Sterett, W. I. & Steadman, J. R. (2003). Gender differences in lower extremity kinematics, kinetics and energy absorption during landing. *Clinical Biomechanics*, *18*(7), 662-669.

Devita, P. & Skelly, W. A. (1992). Effect of landing stiffness on joint kinetics and energies in the lower extremity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *24*(1), 108-115.

Han, S., Lee, H., Son, S. J. & Hopkins, J. T. (2023). Effect of varied dorsiflexion range of motion on landing biomechanics in chronic ankle instability. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *33*(7), 1125-1134.

Hoch, M. C., Farwell, K. E., Gaven, S. L. & Weinhandl, J. T. (2015). Weight-bearing dorsiflexion range of motion and landing biomechanics in individuals with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, *50*(8), 833-839.

Iida, Y., Kanehisa, H., Inaba, Y. & Nakazawa, K. (2011). Activity modulations of trunk and lower limb muscles during impact-absorbing landing. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *21*(4), 602-609.

Jamison, S. T., Pan, X. & Chaudhari, A. M. (2012). Knee moments during run-to-cut maneuvers are associated with lateral trunk positioning. *Journal of Biomechanics*, *45*(11), 1881-1885.

Jeong, K. Y., Kim, K. H. & Kim, S. H. (2010). A study on sports injury of kendo players. *Journal of Sport and Leisure Studies*, *41*(2), 949-961.

Jung, J. H. & Jeon, J. W. (2021). A study on the exploration and improvement of the injury of students in taekwondo demonstration contest. *Journal of the World Society of Taekwondo Culture*, *12*(1), 107-124.

Jung, J. Y. (2013). *Comparison of biomechanical variables between single and double back somersault kicks in taekwondo*. Un- published Master's Thesis. Chonnam National University.

Jung, J. Y. & Kim, Y. K. (2015). Kinematic comparisons between single and double back somersault kicks in taekwondo. *Taekwondo Journal of Kukkiwon*, *6*(2), 155-172.

Kang, D. K. (2018). *The effect of aerial spin of dollyeochagi and dwihuryeochagi on kicking mechanics*. Un-published Doctor's Dissertation. Kookmin University.

Kang, S. H., Lee, J. Y. & Park, I. B. (2023). The emg analysis study according to weight and water bag vest during push movement in badminton players. *Journal of Converging Sport and Exercise Sciences*, *21*(3), 229-239.

Kim, J. S. (2018). The exploration of factors causing injuries in taekwondo demonstration. *The Korean Journal of Sport*, *16*(2), 709-717.

Kim, Y. K., An, H. P. & Lee, C. S. (2014). Effects of the exercise

rehabilitation for 8 weeks on isokinatic muscle function in collegiate taekwondo players with patellofemoral pain syndrome. *The Korea Society of Sports Science*, *23*(1), 1147-1159.

Ko, J. O., Kim, S. J. & Ji, C. W. (2012). Incidence of injuries and potential injury risk factors in taekwondo demonstrations. *Journal of the Korean Society of Social and Physical Education*, *47*(2), 897-908.

Lee, J. Y. & Kang, S. (2023). Comparison of dynamic muscle activation during fente execution in fencing between wearing weighted and waterbag vests. *Korean Journal of Applied Biomechanics*, *33*(4), 119-127.

Park, H. K., Kwon, H. J. & Lee, D. S. (2016). The study on the injury lesion and awareness of taekwondo training and competition. *The Korean Journal of Sport*, *14*(4), 471-477.

Park, J. M. & Kim, J. S. (2021). Effects of water bag exercise on low segment stabilization and kick power and speed in middle and high school taekwondo players. *The Korean Society of Sports Science*, *30*(1), 841-851.

Park, S. J. & Kim, S. H. (2023). Effect of water bag training used terrasensa on truncus isokinetic muscular function, muscular activity and balance ability in taekwondo player. *Journal of Martial Arts*, *17*(4), 245-265.

Siff, M. C. (2002). Functional training revisited. *Strength and Conditioning Journal*, *24*(5), 42-46.

Sung, R. J. (2001). Mechanical principles of the "breaking" in Taekwondo. *World Journal of Taekwondo Research*, *5*, 159-166.

Trepin, M. (2010). *Effects of Squat Jump training with 25% body weight overload on strength, muscle architecture and performance*. Un- published Dissertation. University of Verona.

U. S. Department of Health and Human Services (1993). *Selected topics in surface electromyography for use in the occupational setting: Expert perspectives* (DHHS Publication No. 91-100). Washington, DC: U.S. Government Printing Office.

Walsh, M., Boling, M. C., McGrath, M., Blackburn, J. T. & Padua, D. A. (2012). Lower extremity muscle activation and knee flexion during a jump-landing task. *Journal of Athletic Training*, *47*(4), 406-413.

Wezenbeek, E., Verhaeghe, L., Laveyne, K., Ravelingien, L., Witvrouw, E. & Schuermans, J. (2022). The effect of aqua-bag use on muscle activation in functional strength training. *Journal of Sport Rehabilitation*, *31*(4), 420-427.

Yu, B., Lin, C. F. & Garrett, W. E. (2006). Lower extremity biomechanics during the landing of a stop-jump task. *Clinical Biomechanics*, *21*(3), 297-305.