

우세한 다리와 비우세한 다리 사이의 태권도 발차기 비교

김영관¹ · 김윤혁¹

¹ 경희대학교 공과대학 기계공학과

Unilateral Performance Comparison for Taekwondo Kicks between Dominant Leg and Non-Dominant Leg

Young-Kwan Kim¹ · Yoon-Hyuk Kim¹

¹Department of Mechanical Engineering, College of Engineering, Kyung Hee University, Yongin, Korea

Received 30 April 2010; Received in revised from 25 June 2010; Accepted 27 June 2010

ABSTRACT

The balanced performance of dominant and non-dominant leg is very important to Taekwondo sparring. The purpose of this study was to investigate whether elite Taekwondo athletes would have balanced biomechanical performance and intra-limb coordination in executing different types of Taekwondo kicks. Twelve athletes (more than 10 year practice experience) participated in this study and performed six basic kicks (i.e., the front, roundhouse, side, back, thrashing, and turning-back kick). Results indicated no statistical difference on response time, peak kicking velocity, single limb vertical jump height, and angle-angle plot between dominant leg and non-dominant leg ($p > .05$). In conclusion, elite Taekwondo athletes had equivalent ability between dominant leg and non-dominant leg in performing Taekwondo kicks. This might be an advantage to elite athletes for Taekwondo sparring because they could use both leg without any restriction.

Keywords : Taekwondo, Kicking, Response Time, Kicking Velocity, Intra-limb Coordination

I. 서론

육상의 달리기, 사이클링, 축구와 같이 하지의 움직임이 중요한 운동에서는 좌우 다리의 균형적인 움직임이 운동성능에 있어서 매우 중요하다. 일부 선행연구에 의하면 우세한 다리 (dominant leg)와 비우세한 다리(non-dominant leg) 사이에 운동역학적인 차이가 나타나는 것으로 보고 되었다(Barfield, 1995; Carpes, Rossato, Faria & Bolli Mota, 2007; Dorge, Andersen, Sorensen & Simonsen, 2002; Nunome, Ikegami,

Kozakai, Apriantono & Sano, 2006;). 축구의 경우 선호하는 다리 또는 우세한 다리를 사용하였을 때 비우세한 다리 또는 비 선호 다리를 이용하였을 때 보다 운동학적 변인(Barfield, 1995; Dorge et al., 2002)과 역학적 변인(Nunome et al., 2006)이 모두 우수한 결과를 보여 주었다. Dorge et al.(2002)은 임팩트시 우세한 다리의 발속도와 공의 투사속도가 통계적으로 빠르다는 것을 보고하였고, 이러한 결과는 우세한 다리의 허벅지분절과 정강분절의 회전각속도 차이에 기인함을 기술하였다. 또한 좌우 고르게 사용될 것으로 예측되는 사이클링에서도 우세한 다리에서 발생하는 크랭크 토크의 최대치가 비우세한 다리의 값보다 크며, 이것은 페달링의 불균형을 일으킨다고 보고 되었다(Carpes et al., 2007). 즉, 동일하게 사용되어질 것으로 여겨지는 스포츠종목에서조차도 우세한 다리와 비우세한 다리의 성능 차이가 발생하였다.

태권도의 겨루기에서 빠른 발놀림과 함께 어떠한 자세에서

Corresponding Author : Yoon-Hyuk Kim
Department of Mechanical Engineering, College of Engineering,
Kyung Hee University, 1 Seochun-dong, Yongin-si, Gyeonggi-do, Korea
Tel : +82-31-201-2028 / Fax : +82-31-202-8106
E-mail : yoonhkim@khu.ac.kr
본 논문은 문화체육관광부의 스포츠산업기술개발사업에 의거 국민체육진흥
공단의 국민체육진흥기금을 지원받아 연구되었음.

라도 발차기 할 수 있는 능력이 필요하다. 따라서, 우수한 태권도 선수의 경우 우세한 다리에만 의존하기 보다는 비우세한 다리의 사용도 동일하게 이루어질 것으로 여겨진다. 지금까지 일부 태권도 연구에서 좌우 발차기의 성능비교가 발표되었다 (Falco et al., 2009; Pedzich, Mastalerz, & Urbanik, 2006; Peng, 2006; Tang, Change, & Nien, 2007). 돌려차기의 반응시간, 최대 발끝속도, 관절 각속도 등에서 우세한 다리와 비우세한 다리 사이에 차이가 없었다는 연구도 있지만 (Tang et al., 2007; Falco et al., 2009), Peng(2006)의 경우 우세한 다리의 돌려차기 반응속도가 통계적으로 빠름을 보였다. Pedzich et al.(2006)은 우세한 다리의 옆차기와 뒷차기가 높은 충격력을 나타내었지만, 뒷차기의 경우 비우세한 다리가 오히려 더 큰 충격량을 발생한다는 것을 보고하였다. 위와 같은 기존의 발차기에 대한 연구결과와 원인으로는 우수선수 또는 비우수선수와 같은 피험자의 선정이나, 돌려차기와 같은 throw-like motion과 옆차기와 같은 push-like motion 사이의 운동제어 메커니즘 차이와 관련이 있을 것이다. throw-like motion은 상위 분절과 하위 분절이 같은 회전 방향을 이루면서 순차적인 분절 회전을 통해 끝단인 손과 발끝에서 최대 속도를 발생시키지만, push-like motion은 상위 분절과 하위 분절이 서로 다른 회전방향으로 미는 듯한 행위를 통해 차는 힘을 만들어 낸다(이옥진, 최지영, 김승재, 2007; 윤창진, 채원식, 2009; 최지영, 이옥진, 김승재, 2007; Putnam, 1991, 1993). 반면 뒤돌려차기는 throw-like motion과 push-like motion의 특징이 혼합된 복합운동의 성격을 보여준다(최지영, 이옥진, 김로빈, 김승재, 2007; Kim, Kim, & Im, 2010).

본 연구에서는 우수 태권도선수들이 우세한 다리와 비우세한 다리를 사용하여 6개의 발차기(앞차기, front kick; 돌려차기, roundhouse kick; 옆차기, side kick; 뒤차기, back kick; 후려차기, thrashing kick; 뒤돌려차기, turning-back kick)를 각각 수행하였을 때 운동학적 변인과 관절협응 변인에서 차이가 있는지를 살펴보고자 하였다. 운동학적 변인으로는 응답시간, 발차기속도, 외발높이뛰기 등이 측정되었고, 관절협응 변인으로는 차는 다리의 엉덩관절과 무릎관절의 각도-각도 변화를 살펴보았다. 우수 선수들의 경우 우세한 다리와 비우세한 다리 사이에 성능 차이가 없을 것이라는 귀무가설이 제시되었고, 통계학적인 방법을 통해 이 가설을 검증토록 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상자

본 연구의 실험 대상으로 대학교 태권도학과 체육특기생들로, 전국대회입상 경험이 있고, 4단 이상으로 수련경력이 10년

이상이 되는 태권도선수 12명을 선정하였다. 우세한 다리의 선정은 피험자의 진술에 의존하였고, 12명 중 8명이 오른다리, 4명이 왼다리를 우세한 다리로 각각 표현하였다. 피검자의 신체 상황은 실험 당시에 발차기의 불편함이 없는 정상적인 상태였다. 피험자의 신장은 179.9 ± 4.2 cm, 체중은 71.9 ± 8.4 kg, 나이는 20.4 ± 1.1 yrs였다.

2. 실험 장비

본 연구에서는 3차원 광학식 동작분석시스템(Hawk® Digital Real Time System, Motion Analysis System, Santa Rosa, CA, USA)을 이용하여 추출율 200 Hz의 동작 측정 실험을 수행하였고, 원활한 운동학적 변인 획득을 위한 15개의 분절 모델(DeLeva, 1996)을 구축하였다. 34개의 반사표시마커 부착은 지역좌표 모델을 용이하게 구현할 수 있도록 Wu et al.(2002)의 제안을 따랐다(Figure 1). 발차기 목표물로 태권도 수련에서 사용되는 미트(All-Star®, 태화산업사, 서울)를 사용하였으며, 하나의 반사표시마커를 목표물 위에 설치하여 타격시점을 쉽게 찾을 수 있도록 하였다. 실험 보조자는 한손으로 미트를 들고, 다른 한손으로 특수 제작된 발광다이오드(light emitting diode: LED)를 잡고 있어서 피험자가 발차기 명령으로 LED를 쉽게 볼 수 있도록 하였다. 발차기의 종류에 따라 앞차기, 돌려차기, 옆차기, 뒤차기시에는 목표물의 위치를 복부 근처에, 후려차기와 뒤돌려차기시에는 목표물의 위치를 얼굴 근처에 각각 고정하였다. 외발높이뛰기 실험에서의 최대 높이는 지면반력기(MP4060, Bertec Corporation, Columbus, OH, USA)에서 나온 수직지면반력을 이용하여 산출하였다.

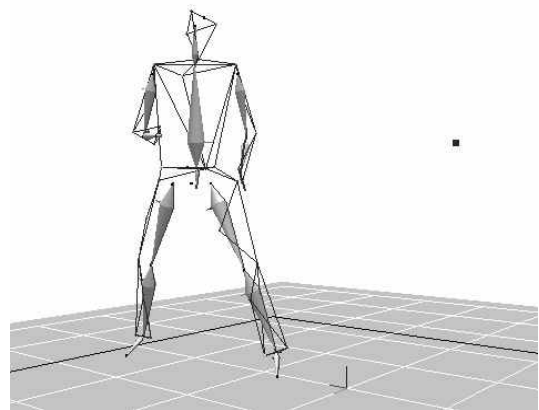


Figure 1. Body model and marker system for experiment

3. 실험 절차

본 연구의 실험은 다음과 같은 순서로 진행되었다. 먼저 실험하기 전에 6가지 발차기의 순서와 좌우발의 순서를 제비뽑기

로 정하였다. 피험자들은 실험 전에 충분한 스트레칭을 통해 유연한 발차기가 나올 수 있도록 준비하였고, 준비운동을 마친 후 겨루기 자세에서 발구름 없이 대기하며 목표물 위에 위치한 LED를 주시하였다. LED에 불빛이 들어오면 가능한 빨리 정확하게 지정된 발차기로 목표물을 가격하였다. 실험 진행자는 임의로 LED 신호를 주어 피험자가 예측된 LED 신호로 발차기를 수행하는 일이 없도록 하였다. 각각의 조건에서 3회 반복 측정을 실시하였고, 중앙값을 계산에 이용하였다.

외발높이뛰기 실험에서, 피험자는 준비신호에 한쪽 발을 접어 한발로만 몸을 지탱하고, 양손을 허리 위에 위치시켜 팔굽직립 효과를 배제하였다. 반동(counter-movement)을 이용한 높이뛰기를 실시하여 최대 높이에 도달하도록 하였다. 좌우 발을 번갈아 가면서 3회 반복 측정하였고, 측정오류를 최소화하기 위해 피험자가 공중에서 무릎을 굽힌 채로 착지하는 것을 금하게 하였다.

4. 자료 분석

자료처리와 분석은 Matlab®(The MathWorks™, Natick, MA, USA)을 이용한 자체 개발한 프로그램으로 실시하였다. 우선 측정된 자료들은 저역통과필터(low-pass filter)를 통해 차단주파수(cutoff frequency) 8Hz로 평활화된 후 운동학적 변인과 협응 변인 계산에 사용되었다. 다음과 같이 변인들이 정의되고 분석되었다.

- 1) 응답시간(response time) : 응답시간은 외부신호인 LED의 불빛이 켜지는 순간부터 발이 목표물에 타격하는 순간까지 걸린 시간이다.
- 2) 발차기속도 : 발차기속도는 발차하는 과정에서 발생하는 발끝의 최대 합성직선 속도의 크기로 다음과 같이 정의하였다.

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

- 3) 외발높이뛰기 높이 :지면반력 자료를 통해 나온 체공시간(tflight)을 투사체 자유낙하식에 적용하여 다음과 같이 계산하였다. 본 공식은 이륙시와 착륙시 무게중심의 높이가 같다는 가정을 바탕으로 하기에 피험자들은 착지시 무릎관절과 엉덩관절의 신전이 요구되었다.

$$h = \frac{1}{8} g (t_{flight})^2$$

- 4) 각도-각도 그래프 차는 다리의 엉덩관절과 무릎관절 협응을 정성적으로 파악하기 위해 엉덩관절의 굴곡/신전 각도와 무릎관절의 굴곡/신전 각도를 이차원 도면에 표현하였다.

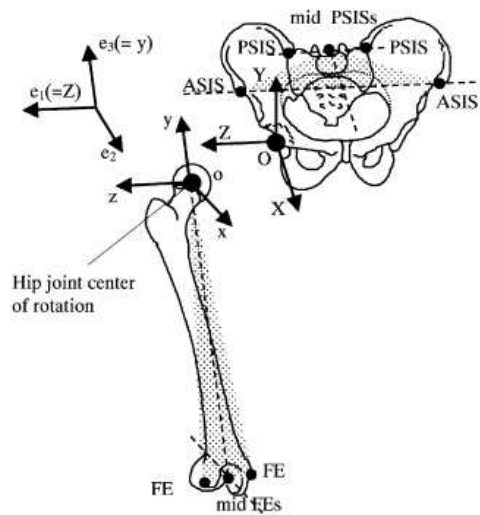


Figure 2. Joint coordinate system of the hip and local coordinate system on pelvis and thigh segments (Wu et al., 2002)

지역좌표 정의는 Wu et al.(2002)을 따랐으며<Figure 2> 각도 계산은 Grood와 Suntay(1983)의 관절좌표계(joint coordinate system) 정의에 따랐다.

5. 통계 처리

본 연구의 통계분석은 SPSS-12.0을 이용하였고 귀무가설 검증을 위해 반복측정 이원분산분석과 대응표본 t 검정을 실시하였다. 이때의 유의수준은 .05로 설정하였다. 우세다리와 비우세다리의 상관도도 함께 분석하여 서로 간의 밀접성도 파악하였다.

III. 결과

1. 응답시간

우세다리와 비우세다리 사이의 응답시간에 대한 결과는 <Table 1>과 같다. 모든 6가지 태권도 발차기에서 우세다리 차기의 응답시간과 비우세다리 차기 응답시간 사이에 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 두 변량사이의 상관관계는 앞차기를 제외한 모든 발차기에 걸쳐서 유의하게 나타났다($p < .05$). 즉, 우세다리가 빠른 반응일 경우 비우세다리도 빠른 반응을 보여 주었고, 우세다리가 느린 반응일 경우 비우세다리도 느린 반응을 나타내었다. 그리고, 발차기 종류별 응답시간 비교에서는 유의한 차이가 있었다. Throw-like motion의 발차기인 앞차기, 돌려차기는 push-like motion인 옆차기, 뒤차기, 그리고 복합적인 관절운동을 필요로 하는 후려차기와 뒤돌려차기보다 통계적으로 유의있게 짧은 응답시간을 보여 주었다[F(5,55)=34.0, $p < .01$].

Table 1. Comparison of response time (dominant leg vs. non-dominant leg)

(unit: sec)

	Dominant leg		Non-dominant leg		<i>t</i> - test		Correlation	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
Front kik	0.70	0.07	0.69	0.07	.17	.87	.55	.06
Roundhouse kick	0.71	0.08	0.69	0.09	1.36	.20	.76	<.01*
Side kick	0.77	0.10	0.77	0.10	-.04	.97	.73	.01*
Back kick	0.75	0.08	0.77	0.07	-1.77	.10	.85	<.01*
Thrashing kick	0.90	0.12	0.89	0.12	.73	.48	.89	<.01*
Turning-back kick	0.84	0.11	0.85	0.10	-.36	.73	.69	.01*

* indicates significant difference ($p < 0.05$). *M*=mean, *SD*=standard deviation

Table 2. Comparison of kicking velocity (dominant leg vs. non-dominant leg)

(unit: m/s)

	Dominant leg		Non-dominant leg		<i>t</i> - test		Correlation	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
Front kick	14.1	1.3	14.1	1.3	-.18	.86	.85	<.01*
Roundhouse kick	14.7	1.3	14.7	1.5	.20	.84	.83	<.01*
Side kick	9.1	1.2	8.8	1.2	.84	.42	.66	.02*
Back kick	11.5	1.0	11.6	1.2	-.56	.59	.79	<.01*
Thrashing kick	9.9	1.3	10.2	1.1	-1.04	.32	.78	<.01*
Turning-back kick	11.4	1.2	11.3	0.9	.27	.79	.64	.02*

* indicates significant difference ($p < 0.05$). *M*=mean, *SD*=standard deviation

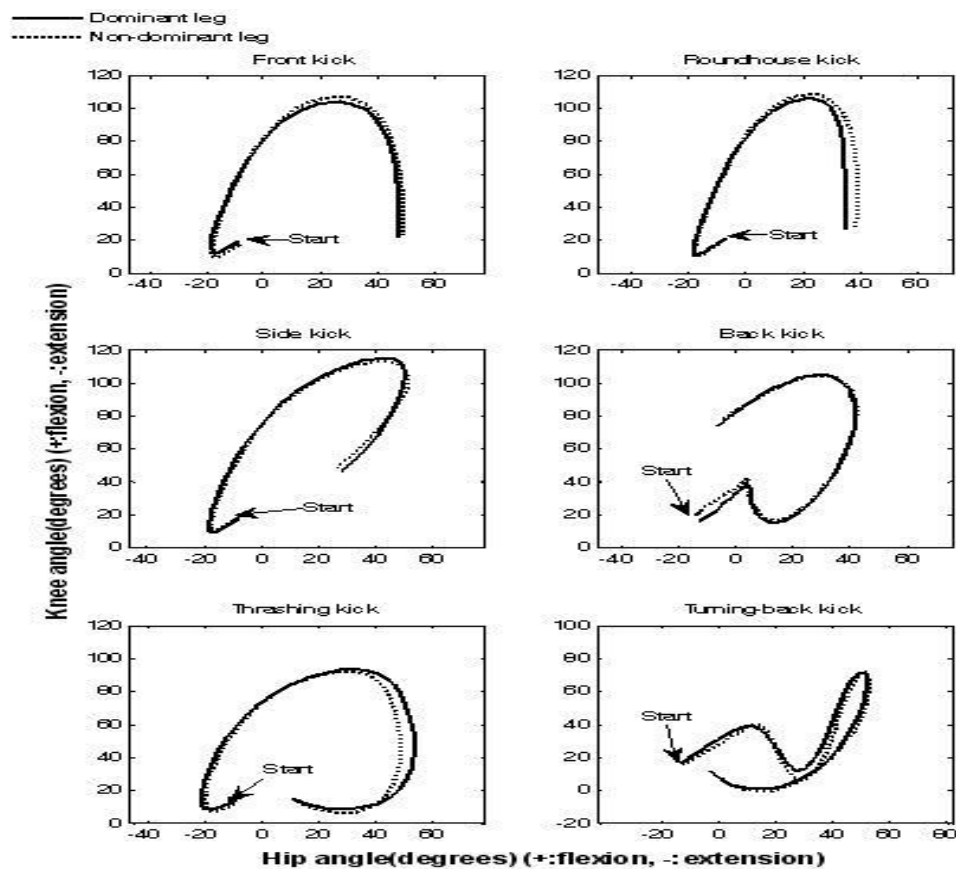


Figure 3. Angle-angle plot of six Taekwondo kicks (dominant leg vs. non-dominant leg)

2. 발차기속도

<Table 2>에서 보는 바와 같이 발차기속도 결과에 있어서 6가지 발차기 모두 우세다리 차기와 비우세다리 차기의 차이가 없었고, 두 변량사이에 유의한 상관관계가 있었다($p < .05$). 그 값들은 양(+)의 높은 상관계수(0.64에서 0.85)를 나타내었다. 발차기 종류별 발차기속도는 throw-like motion 형태인 앞차기(우세다리와 비우세다리 모두 평균 14.1 m/s)와 돌려차기(우세다리와 비우세다리 모두 평균 14.7 m/s)가 다른 발차기들(옆차기, 뒤차기, 후려차기, 뒤돌려차기)에 비해 유의하게 빨랐다[F(5,55)=94.1, $p < .01$].

3. 외발높이뛰기

수직높이뛰기는 근력측정 뿐만 아니라 하체분절의 협응을 대표하는 중요 수치로서 프로미식축구(NFL) 선수선발 지표로도 활용된다. 대응표본 t-검정을 통해 우세다리 뛰기와 비우세다리 뛰기의 성능 비교를 수행한 결과, 우세다리 뛰기의 높이는 0.184 ± 0.02 m로 비우세다리 뛰기의 높이(0.177 ± 0.02 m)보다 약간 우세하지만 통계학적인 차이가 없었다.

4. 각도-각도 도표

<Figure 3>은 6가지 발차기에서 차는 다리의 엉덩관절과 무릎관절의 협응을 정성적으로 보여 준다.

우세다리 차기의 곡선 형태와 비우세다리 차기의 곡선 형태가 6개의 모든 발차기에 걸쳐서 서로 매우 흡사하게 이루어졌다. 이는 우수 선수의 경우 우세다리의 관절협응과 비우세다리의 관절협응 사이에 차이가 없음을 의미하고, 이러한 결과는 앞서 제시한 발차기 속도 결과를 지지하였다. 즉, 발차기속도의 차이가 없는 것은 관절협응의 차이가 없음에서 기인한다고 볼 수 있다.

Throw-like motion 발차기인 앞차기와 돌려차기의 특징은 발이 지면에서 이륙한 후 엉덩관절은 굴곡 국면만 보여 주었지만, push-like motion 발차기들(옆차기와 뒤차기)과 복합운동의 발차기들(후려차기와 뒤돌려차기)에서는 굴곡 국면과 신전 국면을 동시에 보여 주었다. 이러한 결과는 throw-like motion 발차기들이 push-like motion 발차기들과 복합운동 발차기들보다 간단한 차기 메커니즘을 지녀 더 짧은 응답시간과 더 빠른 발차기 속도가 나오는 이유를 제시해 준다.

와 돌려차기, 그리고 push-like motion 발차기인 옆차기, 뒤차기, 복합운동 발차기인 후려차기와 뒤돌려차기 등을 대상으로 우세다리 차기와 비우세다리 차기 사이의 운동성능을 비교하였다. 겨루기 발차기의 주요 목적인 응답시간과 발차기 속도에서는 두 다리 차기 사이에 통계적인 차이가 발견되지 않았다. 본 연구의 돌려차기 응답시간(우세다리 차기 0.71 sec와 비우세다리 차기 0.69 sec)은 다른 연구들의 결과인 0.6 sec(Tang et al., 2007), 0.65 sec(Sung, Lee, Park, & Joo, 1987), 0.66 sec(이재봉, 2001), 0.68 sec(Pieter & Heijmans, 2003)와 비슷한 결과가 나와 측정의 신뢰도를 간접적으로 검증할 수 있었다. 하지만 돌려차기의 결과값이 기존 연구결과인 17.3 m/s(배영상, 1992)와 17.7 m/s(O'Sullivan et al., 2009)에 비해 작은 값(14.7 m/s)으로 나왔다. 줄어든 돌려차기 속도 결과는 이 실험에서 우수 태권도선수를 선발하여 실험하였지만 피험자의 대상과 측정시스템의 차이에 기인한다고 생각된다.

운동학적 변인에 있어서 우세다리 차기와 비우세다리 차기의 결과가 통계적으로 차이가 없었다는 사실은 하체 관절력 협응을 대표하는 외발수직뛰기 결과와 발차기시 관절 사이의 각도-각도 도표의 결과로도 설명할 수 있었다. 즉, 본 실험에 참여한 피험자들은 우세한 다리와 비우세한 다리가 균형있게 발달되었고 차는 동작에 있어서 우세한 다리와 비우세한 다리가 같은 협응 형태를 보여 주었다. 이러한 결과는 양쪽 하지를 사용하는 축구(Barfield, 1995; Dorge et al., 2002; Nunome et al., 2006)나 사이클(Carpes et al., 2007)에서 발표되었던 비대칭적 운동 성능과 다른 결과를 보여 주고 있기에, 오랜 기간의 태권도 수련이 신체의 좌우 대칭 능력 발달에 기여할 수 있을 것으로 추론할 수 있다. 또한 겨루기 경기력 측면에서도 균형 잡힌 우세다리와 비우세다리 능력은 유리하게 작용할 것으로 생각한다.

6가지 발차기 비교를 통해 우세다리 차기와 비우세다리 차기의 운동성능에서의 차이는 크게 나타나지 않았지만, 발차기 운동 형태에 따른 차이점은 볼 수 있었다. throw-like motion 형태의 발차기들은 간단한 관절협응을 보여주었고, push-like motion과 복합운동 형태의 발차기들은 복잡한 관절협응 관계를 나타내었다. 이러한 결과 throw-like motion 발차기들이 응답속도와 발차기속도 측면에서 다른 발차기 형태보다 더 효과적이라는 것을 알 수 있었다(Kim et al., 2010).

V. 결론

12명의 대학 태권도 선수를 대상으로 실시한 우세한 다리와 비우세한 다리의 발차기 비교 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다. 6가지의 발차기 형태에 상관없이 우수 선수의 경

IV. 논의

본 논문에서는 throw-like motion 발차기로 대표되는 앞차기

우 응답시간, 발차기속도, 외발높이뛰기, 차는 다리의 각도-각도 협응에 있어서 유의한 차이가 없었다. 이는 우수 태권도선수인 경우 양쪽 다리의 사용에 제약이 없음을 의미하며 겨루기의 경기력을 향상시키는 인자로 결론을 내릴 수 있었다

우수 태권도선수의 좌우 균형적인 성능이 오랜 시간 수련을 통한 운동학습의 결과인지를 파악하기 위해 비숙련자를 대상으로 같은 실험을 할 필요가 있다. 만약, 미숙련자에서는 우세다리 차기와 비우세다리 차기 사이에 유의한 운동역학적 성능의 차이가 발견된다면 태권도 수련의 우수성이 입증될 수 있는 자료가 될 것이다. 이는 태권도의 수련이 하지의 좌우 대칭성을 향상시킬 수 있는 트레이닝 방법으로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- 배영상(1992). 태권도의 발차기 속도특성 및 발차기 속도 추정
에 관한 생체역학적 연구. **한국체육학회지**, 31(3),
219-227.
- 윤창진, 채원식(2009). 태권도 돌려차기 동작의 운동학적 협응
과 제어과정. **한국운동역학회지**, 18(2), 95-104.
- 이옥진, 최지영, 김승재(2007). 태권도 뒤차기의 인체 관절과 분
절사이의 협응 형태. **한국운동역학회지**, 17(4), 73-82.
- 이재봉(2001). 태권도 돌려차기동작의 운동학적 분석. **한국학
교체육학회지**, 11(1), 71-78.
- 최지영, 이옥진, 김승재(2007). 태권도 돌려차기의 인체 관절과 분
절사이의 협응 형태. **한국체육학회지**, 46(6), 497-507.
- 최지영, 이옥진, 김로빈, 김승재(2007). 태권도 뒤후려차기의 인
체분절 사이의 협응 형태. **한국사회체육학회지**, 31,
1279-1289.
- Barfield, W. R.(1995). Effects of selected kinematic and kinetic
variables on instep kicking with dominant and nondominant
limbs. *Journal of Human Movement Studies*, 29, 251-272.
- Carpes, F. P., Rossato, M., Faria, I. E., & Bolli Mota, C.(2007).
Bilateral pedaling asymmetry during a simulated 40-km
cycling time-trial. *Journal of Sports Medicine and
Physical Fitness*, 47, 51-57.
- DeLeva, P.(1996). Adjustment to Zatsiorsky- Seluyanov's segment
inertia parameters. *Journal of Biomechanics*, 29, 1223-1230.
- Dorge, H. C., Andersen, T. B., Sorensen, H., & Simonsen, E.
B.(2002). Biomechanical differences in soccer kicking
with the preferred and the non-preferred leg. *Journal of
Sports Sciences*, 20, 293-299.
- Falco, C., Alvarez, O., Estevan, I., Molina-Garcia, J., Mugarra, F.,
& Iradi, A.(2009). Kinetic and kinematic analysis of the
dominant and non-dominant kicking leg in the taekwondo
roundhouse kick. In A. J. Harrison, R. Andersson, & I.
Kenny (Ed.), *Proceedings of the 27th International
Symposium on Biomechanics in Sports*, 592-595. Limerick,
Ireland: International Society of Biomechanics in Sports.
- Grood, E. S., & Suntay, W. J.(1983). A joint coordination system
for the clinical description of three-dimensional motion:
Application to the knee. *Journal of Biomedical
Engineering*, 105, 136-144.
- Kim, Y. K., Kim, Y. H., & Im, S. J.(2010). *Classification and
biomechanical analysis of taekwondo kicks in terms of
inter-joint coordination*. Manuscript submitted for publication.
- Nunome, H., Ikegami, Y., Kozakai, R., Apriantono, T., & Sano,
S.(2006). Segmental dynamics of soccer instep kicking
with the preferred and non-preferred leg. *Journal of
Sports Sciences*, 24, 529-541.
- O'Sullivan, D., Chung, C., Lee, K., Kim, E., Kang, S., Kim, T.,
& Shin, I.(2009). Measurement and comparison of
Taekwondo and Yongmudo turning kick impact force
for two target heights. *Journal of Sports Science and
Medicine*, 8, 13-16.
- Pedzich, W., Mastalerz, A., & Urbanik, C.(2006). The comparison
of the dynamics of selected leg strokes in taekwondo
WTF. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 8, 1-9.
- Peng, C. T.(2006). *The difference of strength and the speed,
balance between the dominant and non-dominant leg
during the roundhouse kick of tae kwon do athletes*.
Unpublished doctoral dissertation, National College of
Physical Education, Taiwan.
- Pieter, W., & Heijmans, J.(2003). Training & competition in
Taekwondo. *Journal of Asian Martial Arts*, 12(1), 9-23.
- Putnam, C. A.(1991). A segmental interaction analysis of
proximal-to-distal sequential segment motion patterns.
Medicine and Science in Sports and Exercise, 23, 130-144.
- Putnam, C. A.(1993). Sequential motions of body segments in
striking and throwing skills: descriptions and explanations.
Journal of Biomechanics, 26, 125-135.
- Sung, N., Lee, S., Park, H., & Joo, S.(1987). An analysis of the
dynamics of the basic Taekwondo kicks. *US Taekwondo
Journal*, 6, 10-15.

- Tang, W. T., Chang, J. S., & Nien, Y. H.(2007). The kinematics characteristics of preferred and non-preferred roundhouse kick in elite Taekwondo athletes, *Journal of Biomechanics*, 40(S2), S780.
- Wu, G., Siegler, S., Allard, P., Kirtley, C., Leardini, A., Rosenbaum, D., Whittle, M., D'Lima, D., Cristofolini, L., Witte, H., Schmid, O., & Stokes, I.(2002). ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion-Part I: ankle, hip, and spine. *Journal of Biomechanics*, 35, 543-548.