검도 받아치기 동작 시 손 분절 위치에 다른 공격시간과 지면반력 변인 간 관계

Relationship between the ground reaction force and attack time according to the position of hand segment during return motion in Kendo

Seung Hyun Hyun[1], Hyeonseong Jin[2], Che Cheong Ryew[1]

[1] Department of Kinesiology, Jeju University, Jeju-Do, South Korea

[2] Department of Mathematics, Jeju University, Jeju-Do, South Korea

Corresponding author

Che Cheong Ryew, Ph.D.

Associate Professor

Department of Kinesiology/ College of Natural Science/ Jeju National University/ 102 Jejudaehak-ro/ Jeju/ 63243/ South Korea

Phone: +82-64-754-3588, Fax: +82-64-757-1752, Email: ryew@jejunu.ac.kr

Acknowledgements

This research was supported by the 2017 scientific promotion program funded by Jeju National University.

Abstract

Objective: The purpose of this study was to analyze the relationship between ground reaction force and attack time according to the position of hand segment during return motion in kendo.

Method: The participants consisted of 10 kendo athletes (mean age: 21.50±1.95 yr, mean height: 175.58±5.02 cm, mean body weight: 70.96±9.47 kg) who performed standard head strikes (A) and return motions with a preferred hand position of +10 cm (B), 0 cm (C), and -10 cm (D). One force-plate (AMTI-OR-7., USA) was used to collect GRF data at a sample rate of 1000 Hz. The variables analyzed were the attack time, medial-lateral GRF, anterior-posterior GRF (AP GRF), peak vertical force (PVF), and loading rate.

Results: The total attack time was shorter in types A and C than in types C and D. The AP GRF, PVF, and loading rate had significantly higher forces in types C and D than in types A and C. The attack time (bilateral and unilateral leg support and total) was positively correlated with the GRF variables (vertical GRF and loading rate) during the return motions in Kendo ($r = 0.779$ [$R^2=0.607$], $p<0.001$)

Conclusion: The positions of hand segment can be changed by various conditions of opponent in kendo competition, but it is considered that the position of hand segment preferred by individual can promote the successful ratio of return motion.

Keywords: Kendo, Hand positions, Attack time, Return motion, GRF

Introduction

스포츠성과의 변동성 (Variability)은 팀 경기 (James, Mellalieu, & Jones, 2005; Gregson, Drust, Atkinson, & Salvo, 2010)뿐만 아니라 개인 경기에서도 주목받는다 (O'Donoghue, 2005; Montelpare, McPherson, & Puumala, 2013). 이는 스포츠성과의 요인들이 인체측정 및 체력검사의 결과만큼 안정적이지 않기 때문이다 (Ogle & O'Donoghue, 2015). 변동성에 영향을 주는 요인들은 매우 다양하지만, 가장 큰 원인은 상대방의 우수함이다 (McGarry & Franks, 1994).

상대방에 의한 다양한 조건에서 안정적인 방어 및 신속한 공격이 요구되는 스포츠는 태권도, 유도, 합기도, 우슈 외에도 여러 종목들이 있지만, 이중 검도는 죽도 (bamboo swords)로 상대에게 유효타를 쳐 순간적으로 승패가 결정되기 때문에 경기결과를 예측하기 더 어렵다.

검도는 말 그대로 '검의 길' (the way of the sword)을 의미하며 (Ogle & O'Donoghue, 2015), 기, 검, 체가 일치되어 먼저 치거나 찌르는 선수가 한판으로 득점할 수 있다 (Min, Bae, & Lee, 2001). 승리하기 위해서는 다양한 공격기술과 정확도를 가지고 원활하게 공격해야 하며 (Min et al., 2001), 크게 두 가지 공격유형에 의해 득점이 이루어지는데, 공격동작 (attacking movements)과 역습 (counter-attacks)이다.

기본 공격은 상대방에 대해 공격 거리를 이동함과 동시에 타격하는 기술을 말한다. 기술적 특징으로는 Park (2005)이 검도 머리치기 공격 시 back swing 에서 왼 팔꿈치의 각도는 일정하게 유지되며, 이후 오른팔의 미는 힘과 왼팔을 당기는 힘의 균형으로 타격이 이루어진다고 보고했다. Lim (2000)은 머리치기와 손목치기 공격 시 선호하는 표적거리는 각각 247 cm, 193 cm 였으며, 타격시간은 1.10 sec 와 0.64 sec 라고 하였고, 효율적인 공격을 위해서는 칼 끝의 움직임은 흔들림 없이 상대의 정중심선을 벗어나지 않아야 한다고 하였다 (Min et al., 2001). 이때, 하지의 움직임은 오른쪽 다리가 전방으로 진행 및 앞다리 기능을 수행하지만, 힘은 왼쪽 하지에서 발생된다고 하였다 (Broderick, Chart, & Ko, 2004). 이 외에도 공격자의 보폭과 타격과의 공격거리, 그리고 타격의 소요시간이 공격결과에 영향을 미치는 중요한 요인으로 보고하고 있다(Min et al., 2001).

다른 득점 방법인 역습은 상대방에게 득점할 수 있다고 믿게 함과 동시에 공격을 유도시킨 순간을 활용하여 공격하는 기술을 말한다 (Ogle & O'Donoghue, 2015). 이 기술은 방어와 공격기술이 동시 복합적으로 행해져야 하며, 상대방의 자세변화 및 공격위치에 따른 상황을 고려하는 것이 중요하다. 하지만, 검도경기에서 받아치기 기술의 사용빈도는 매우 높지만, 상대방의 공격조건과 방어자의 자세가 다양하기 때문에 관련 기술의 정량적 자료는 부족하다.

검도에서 대부분의 선수들은 기본자세로 양손을 이용해 검을 잡고 오른발 뒤에 왼발을 위치시킨다 (Koshida & Matsuda, 2013). 무술 승자들은 짧은 공격시간 및 높은 일관성의 특징을 보이는데, 타격 중 손 분절의 속도가 가장 빠른 형태를 보인다 (Neto, Magini, & Saba, 2007). 이에 검도에서도 현저한 힘은 왼쪽 상·하지에서 생성되기 때문에 정확성과 우수함 및 강력한 공격을 위한 손 분절의 위치가 매우 중요하며 (Ogle & O'Donoghue, 2015), 공격 전 손 분절의 위치가 방어 및 공격 기술력에 영향을 줄 수 있다.

이와 같이, 검도 경기는 상대방에 의한 다양한 조건에서 기, 검, 체의 일치를 통해 공격의 성공률을 높일 수 있어야 한다. 하지만 대부분의 연구들은 운동학적 데이터를 이용한 머리, 손목, 허리치기 등, 기본공격의 동작분석에만 국한된 경향이 있으며, 선혁과 전족 착지 간 시간 타이밍 변동성의 통계적 분석도 부족하다. 그리고 잘못된 공격자세는 부상의 위험과 관련이 있는데, 검도는 부상의 위험이 적은 스포츠로 여겨지고 있으나, 실제로는 공격 후 하지 관절의 전단스트레스로 인해 요통 (L3/4, L4/5)의 발생 위험이 높다고 보고하고 있다 (Kishi & Morikita, 2009; Kishi & Morikita, Takasaki, Yamaguchi, & Suzuki, 2009). Schultzel, Schultzel, Wentz, & Bernhardt (2016)의 연구에서도 307 명의 검도 선수들을 조사한 결과, 가장 흔한 부상부위는 발바닥과 발목이 65.1%로 높다고 하였다. 이에 공격 시 발-지면 간 평행하게 발생되는 좌우, 전후 지면반력 (shear force)과 수직방향으로 생성되는 최대수직지면반력, 부하율 등의 다양한 변인을 고려한 실험연구가 이루어져야 하겠다. 즉, 검도는 상대방에 의한 다양한 조건에서 순간적인 공격 및 타격으로 승패가 결정될 수 있기 때문에 부상예방과 함께 공격 기술의 질을 향상시키는 일은 매우 중요하다 (Ogle & O'Donoghue, 2015).

따라서 본 연구의 목적은 공격자의 손 분절 위치에 따른 받아치기 동작을 비교 분석하여 시간 일치도와 지면반력 변인들을 변화를 파악하고, 각 변인들 간 상관분석을 실시하여 정량적 자료 제시 및 축적하고자 하였다.

Method

1. Subject

본 연구의 대상자는 남자 검도선수 10 명으로 선정하였다 (평균나이: 21.50±1.95 yrs, 평균신장: 175.58±5.02 cm, 평균몸무게: 70.96±9.47 kg). 이들은 최근 1 년 이내에 하지 근골격계에 이상이 없는 자들이었으며, 받아치기 기술이 가능한 자들이었다. 실험에 참여하기 전, 모든 피험자들에게 본 연구의 목적과 내용을 충분히 설명하였고, 자발적으로 참여의사를 밝힌 자들에게 동의서를 받았다.

2. Experimental procedure

실험을 실시하기 전, 각 대상자들에게 웜업 및 공격 연습시간을 충분히 제공하였으며, 개인별 준비자세에서 오른쪽 앞발과 타격부위 간 수평거리는 1m 70 cm 로 통일시켰다. 타격부위는 더미를 이용해 각 대상자의 얼굴과 동일한 수직위치에 고정시켰고, 타격 후 오른발 접지 시점을 확인하여 지면반력기 (AMTI-OR-7., USA) 1 대를 설치하였다. 시간변인을 계산하기 위해 카메라 2 대 (HDR-HC7/HDV 1080i, SONY)로 영상을 촬영하였고, 이때 카메라 속도는 60 frames/sec, 노출시간은 1/500 sec 로 설정하였다.

실험은 기본 머리치기 (A)를 실시한 후 받아치기 순서로 실시하였다. 받아치기 시에는 손 분절의 위치를 표현하기 위해 죽도의 병혁 (grip)부분은 삭제하였으며 〈Figure 1〉, 각 대상자들의 진술에 의존해 준비자세에서

선호하는 오른 손 분절 위치를 기준으로 상·하 ±10cm 로 설정하였다 (선호하는 위치, +10 cm[B], 0[C], -10 cm[D]). 이때, 공격 및 오른발 접지 시 생성되는 지면반력 자료는 샘플링 율을 1000 Hz 로 수집하였고, 발 바닥 전체가 지면반력기 위에 착지되는 동작을 성공으로 판단하였다. 특히, 받아치기는 실험자가 준비상태에서 보조자인 검도선수가 실제 타격강도로 중혁과 병혁 사이에 타격을 가하면 곧바로 반응 및 머리치기 공격을 실시하였다.

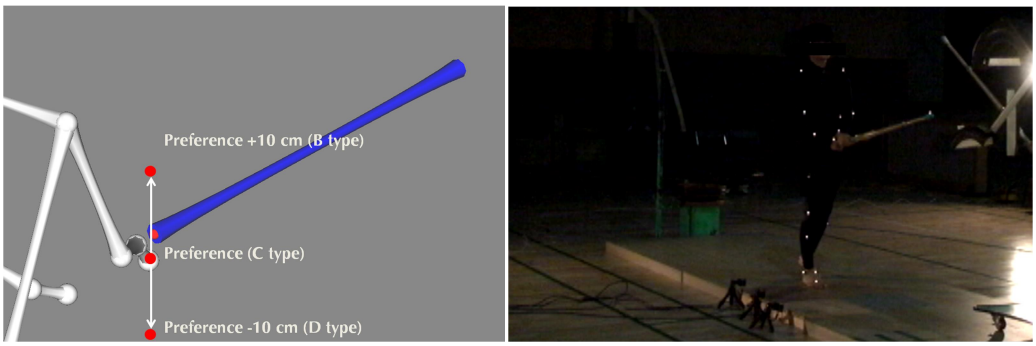

Figure 1. Positions of hand segment during return motion.

3. Event

준비자세에서 더미 타격 후 오른발(앞발)이 지면에 닿는 순간까지 총 4 개의 이벤트와 3 개의 국면으로 설정하였다 (Figure 2).

-이벤트

이벤트 1 : 준비자세에서 공격자의 검에 상대방의 검이 닿는 순간

이벤트 2 : 공격을 위해 오른쪽 발이 지면에서 이지 되는 순간

이벤트 3 : 더미에 선혁이 닿는 순간

이벤트 4 : 공격 후 오른쪽 발 앞꿈치가 접지되는 순간

-국면

국면 1: 양발 지지기

국면 2: 한발 지지기

국면 3: 공격종료

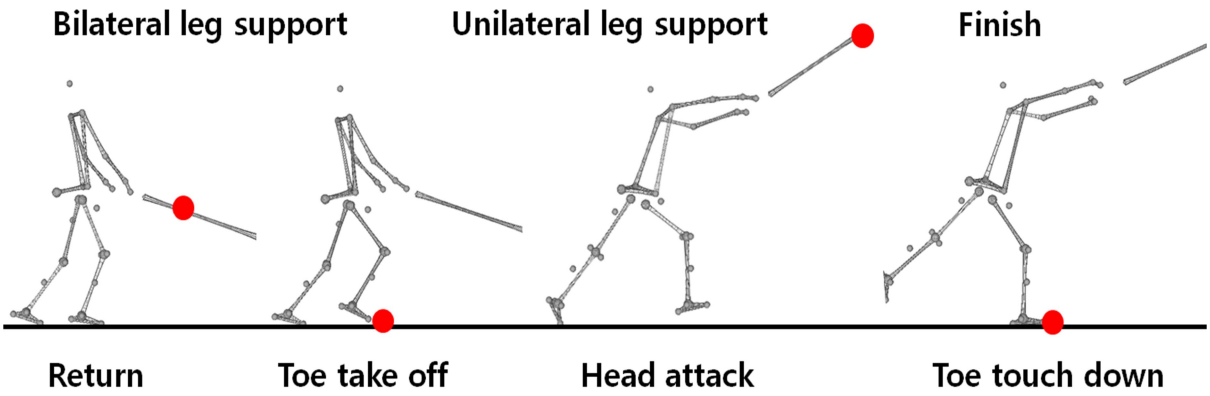

Figure 2. Event and phase during head strike

4. Data processing

검도 공격 및 받아치기 시간을 분석하기 위해 (주)비솔 (Visol., Korea)의 Kwon 3D XP ver.4.0 (2007) 프로그램을 이용하였다. 소요시간은 60 frames/sec 로, 각 프레임 수에 0.016667 sec 를 곱하여 산출하였다. 따라서 산출된 각 변인들은 기본공격, 받아치기 동작 (×3)에 따라 반복일원분산분석을 실시하였고, 통계적 유의한 차이발견 시 사후검정 (post-hoc test: Duncan)을 실시하였다. 모든 통계치의 유의수준은 a =.05 로 설정하였다.

Results

1. Result of attack time

검도 받아치기 동작 시 각 이벤트별 소요시간의 변화는 <Table 1>과 같다. BLS 에서 소요시간은 A 유형이 가장 빠른 것으로 나타났으며, 통계적으로 유의하였다. ULS 동작 시 B, C 유형이 A, D 유형보다 더 빠르게 나타났으며, 통계적으로 유의하였다. Finish, Total에서는 받아치기 유형에 따라 서로 다른 차이는 없었으며 통계적으로 유의하지 않았다.

Table 1. Result of attack time according to wrist positions (unit: sec)

Section	Types				*F*	*P*	*Post-hoc*
	Standard(A)	+10 cm(B)	Preference(C)	-10 cm(D)			
BLS	0.10±0.01	0.18±0.08	0.16±0.06	0.18±0.06	5.258	.005**	A>B,C,D
ULS	0.30±0.05	0.25±0.05	0.25±0.06	0.27±0.05	3.605	.026*	B,C>A D
F	0.02±0.01	0.03±0.01	0.03±0.01	0.03±0.01	.300	.825	-
Total	0.42±0.04	0.46±0.11	0.45±0.10	0.50±0.07	1.477	.243	-

*Note: **p<.01, *p<.05, BLS: bilateral leg support, ULS: unilateral leg support, F: finish, Total: BLS-F*

2. Result of GRF variables

머리치기 공격 후 전족에서 생성되는 지면반력 변인들의 변화는 <Table 2> 및 <Figure 3>과 같다. ML GRF는 손 분절위치에 따라 큰 차이는 없었으며, 통계적으로 유의하지 않았다. AP GRF는 A 유형과 C 유형이 가장 작은 평균 값을 나타냈으며, 통계적으로 유의하였다. VGRF와 loading rate의 변화는 A 유형이 가장 평균 값을 나타냈으며, 통계적으로 유의하였다.

Table 2. Result of GRF variables according to wrist positions

Section	Types				*F*	*P*	*Post-hoc*
	Standard(A)	+10 cm(B)	Preference(C)	-10 cm(D)			
ML GRF (N/BW)	0.09±0.26	-0.13±0.22	0.02±0.35	-0.12±0.31	1.885	.156	-
AP GRF (N/BW)	-0.01±0.34	-0.36±0.14	-0.19±0.24	0.29±0.21	17.598	.001***	D>A>C>B
V GRF (N/BW)	2.86±0.80	4.55±0.83	3.30±1.07	4.38±0.74	12.525	.001***	B,C,D>A
Loading rate (N/BW·sec^{-1})	34.17±19.13	65.61±17.76	44.58±22.31	61.41±10.13	7.716	.001***	B,C,D>A

*Note: ***p<.001*

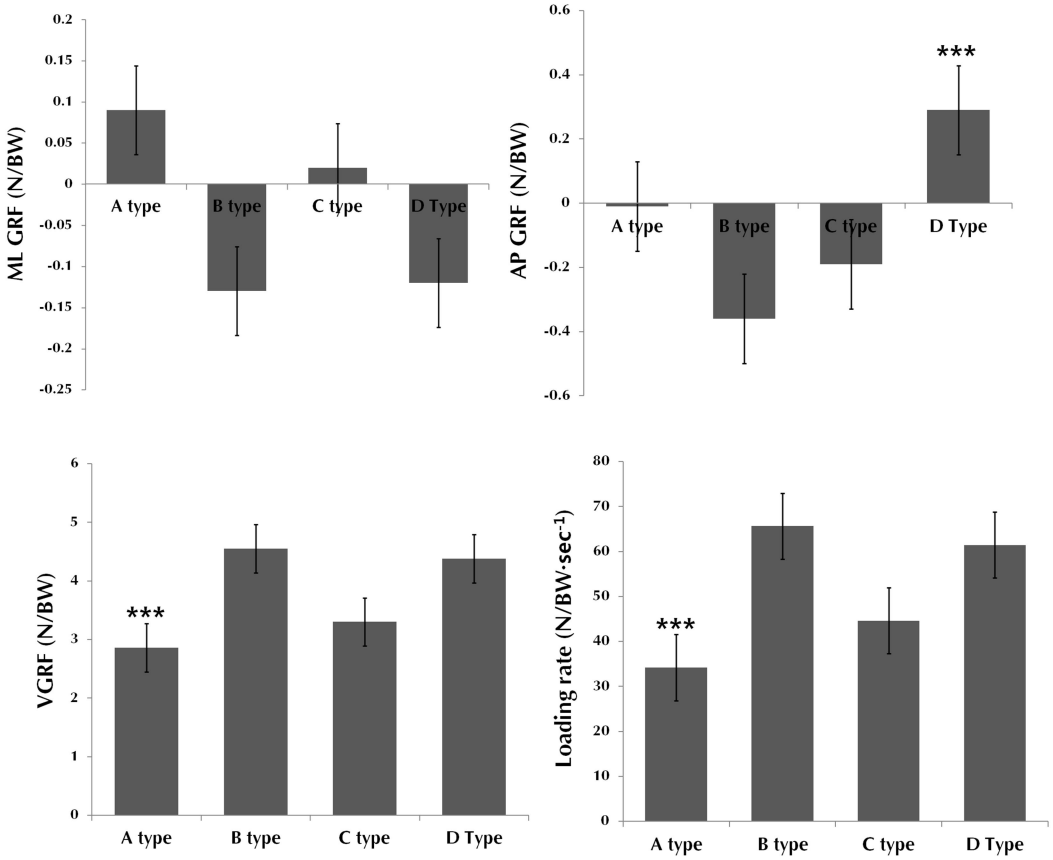

Figure 3. GRF variables

3. Result of correlationship relative (unit: *r*)

Section	Attack time			GRF variables			
	ULS	F	Total	ML GRF	AP GRF	V GRF	Loading rate

BLS	.293	-.235	.801***	.027	-.008	.207	.197
ULS		-.322	.779***	.133	.055	.212	.235
F			-.235	.190	.050	-.027	-.138
Total				.175	.067	.204	.222
ML GRF					-.071	.129	-.018
AP GRF						-.253	-.211
V GRF							.821***

*Note: ***p<.001, BLS: bilateral leg support, ULS: unilateral leg support, F: finish, Total: BLS-F*

검도 기본 공격동작 (A유형)을 기준으로 받아치기 동작(B, C, D유형)에 대한 각 변인들의 표준화 (%) 값을 이용해 상관분석을 실시한 결과 <Table 3> 및 <Figure 4>와 같다.

공격시간에서 BLS와 Total 간 r=.801 (R^2=0.642, p<.001), ULS와 Total 간 r=.779 (R^2=0.607, p<.001)로 매우 높은 정적상관을 나타냈다. 또, 지면반력 변인 중 VGRF와 loading rate 간 r=.821 (R^2=0.673, p<001)로 서로 유사한 정적상관을 보였다.

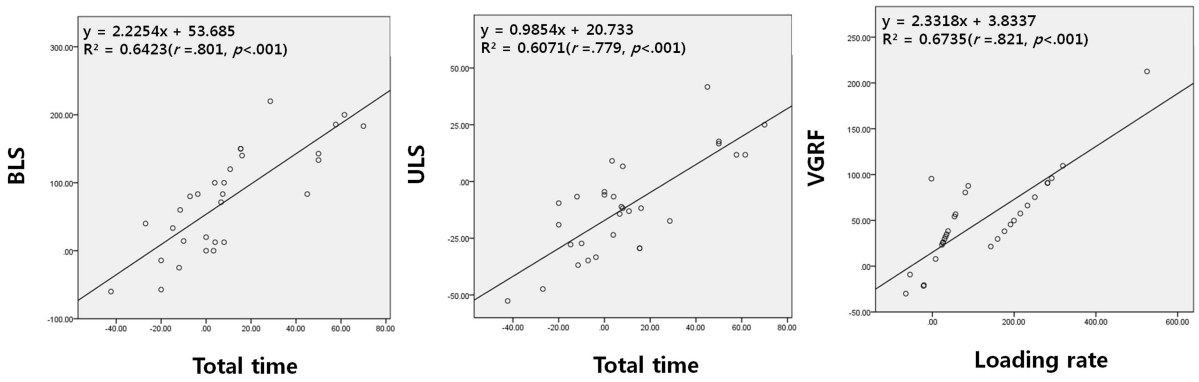

Figure 4. Scatter plot and regression equation

Discussion

검도에서 성공적인 우수선수는 목표지점에 대해 빠른 속도로 일관성 있는 공격을 수행한다 (Ogle & O'Donoghue, 2015). 또 Combat sports 에서는 상대방의 수준을 예상할 수 있는 능력이 필요하고, 공격 시 신속 및 효율적인 결정을 가능케 하는 정보처리 기능도 중요하다 (Delignières, Brisswalter, & Legros, 1994; Guizani, Bouzaouach, & Tenenbaum, & Kheder, 2006). 이에 본 연구는 검도에서 공격자의 손 분절위치 변화에 따른 받아치기 동작 시 시간 타이밍과 지면반력 변인들을 정량적으로 파악하고, 각 변인들 간 상관분석을 실시하였다.

연구결과, 총 소요시간은 모든 대상자들이 선호하는 수평거리 (1m 70 cm)에서 기본공격 (A)이 0.42 sec, 받아치기 C 유형은 0.45 sec 로 B 와 D 유형보다 가장 빠른 시간 내에 타격을 완료하였다. 반면, 받아치기는 손 분절위치에 따라 통계적으로 유의하지 않았으나, 이중 D 유형이 0.50 sec 로 가장 느린 속도를 보였다. 세부적으로 BLS 동작에서는 A 유형이 받아치기 B, C, D 유형들 보다 더 짧은 시간을 보였는데, 상대방에 대한 공격의 예측 없이 머리치기가 이루어져 불필요한 움직임이 제한된 결과로 생각된다. 죽도를 백스윙 하거나 내려

칠 때, 상급자는 칼의 중심점 즉, 관성을 이용해 위치에너지를 운동에너지로 전환하며 힘과 속도를 다룬다 (Yoo, 2014). 또, 검도의 머리치기 동작에서 선속도와 각속도는 매우 밀접한 관계를 가지며, 신체 말단의 각속도와 분절 시스템에 대한 힘 배분이 최고의 스윙 스피드에 영향을 준다 (Yoo, 2014).

이 관점에서 BLS 동작 이후 ULS 동작은 A 유형이 가장 느린 속도를 보이고 있는데, 선호하는 백스윙 탑 정점을 수행하는 과정에서 검의 관성을 이용해 위치에너지에서 운동에너지로 동작을 수행하기 위한 결과로 판단된다. 반면, 받아치기 공격 유형들은 상대방에 의한 공격을 방어한 후 머리치기가 수행되기 때문에 검의 힘과 운동에너지 보다 속도에 의존한 결과라 판단된다. 특히, B 유형과 같이 +10 cm 상향 조절된 손 분절은 손목 움직임의 제한 및 검의 관성을 효과적으로 이용하지 못한 동작이라 판단된다. 또, D 유형은 손 분절의 위치가 -10 cm 로 선호하는 백스윙 궤적을 충분히 이용할 수 있으나, 불필요한 시공간적 움직임이 추가되어 공격시간이 더 지연되는 것으로 사료된다.

상관분석 결과에서 기본공격과 받아치기 유형들 간 BLS 와 ULS 의 % 시간비율이 total time 의 % 시간비율과 매우 유사한 상관을 나타냈다. 반면, 각 국면과 finish 간 서로 상관성은 없었는데, 이는 준비자세부터 선혁 타격 후 발 착지까지 기, 검, 체가 일치되어 (Min et al., 2001) 하나의 공격동작이 수행되어야 하지만, 본 연구에서는 모두 실패한 것으로 판단된다. 즉, 선혁 타격 (E3)과 오른발 착지 (E4) 시점 간 0 sec 가 되어야 완벽한 공격타이밍으로 볼 수 있으나, 모든 받아치기 유형에서 0.03 sec 의 오차를 보였다. 추후 공격자의 손 분절위치 변화와 함께 스탠스 유형, 공격거리, 타격부위 등의 변인들을 고려하여 시간타이밍의 일치도를 더 면밀하게 분석할 필요가 있다고 판단된다.

신체를 구성하고 있는 각 분절에 해당되는 근육, 힘줄, 인대 및 피부가 중력을 분담하고 있으며, 이로 인해 팔 분절에 대한 속도 및 가속도 증가에 따라 중력토크도 변화게 된다 (Kodek & Munih, 2002). 또 신체중심의 위치 변화는 각 신체분절의 자세제어에 의해 영향을 받는다 (Benda, Riley, & Krebs, 1994). 이에 본 연구에서 선혁 타격 후 발 접지 시 지면반력 변인들을 분석한 결과, ML GRF 는 받아치기 유형에 따라 큰 차이는 없었다. 즉, 모든 공격유형은 전-후 방향에 대한 신체제어가 중요한 만큼, 오른발 접지 시 신체중심과 오른쪽 하지 간 좌-우 움직임은 불필요한 것으로 판단된다. 반면, AP GRF 는 A 유형이 가장 작은 평균 값을 보였으나, B 유형은 가장 큰 제동력(-)을 보였다. 또, D 유형은 B 유형과 전혀 다르게 보행이나 달리기의 추진단계에서 나타나는 (+) 값이 생성되었다. VGRF 와 loading rate 간에도 서로 증가되는 높은 상관관계를 보이며, B 유형과 D 유형에서 가장 증가된 형태를 보였다. 즉, 손 분절의 수직위치변화가 전후 지면반력의 크기와 방향성, 그리고 충격유형에 영향을 주는 것으로 확인되었으며, 손 분절위치가 전완-상완-전신의 무게중심 변화에 영향 (Benda et al., 1994)을 주어 공격 시 자세제어에 차이가 발생되는 것으로 생각된다. 또, 공격자의 신체는 타격 이후 방어 및 공격방향에 대한 역 방향으로 신속한 이동이 이루어져야 하지만, D 유형은 오히려 추진력이 생성되고 있어, 방어와 자세복원력에 실패 및 상대방의 타격에 노출될 수 있다고 판단된다. 반면, 검도는 공격 시 런지 동작 (hip flexion)과 자세복원 (hip extension) 과정에서 하지에 큰 스트레스가 전달된다 (Kishi & Morikita, 2009; Lee, Lee, & Lee, 2007; Lee & Lee, 2008). 이때, 특정면의 접선방향에 대해 작용되는 전단력(shear stress)은 신체의 상해를 일으키는 기계적 자극으로 (Medved, 2000; Kishi & Morikita, 2009; Kishi et al., 2009), 본 연구의 B 유형이 가장 큰 제동력을 나타낸 바, 하지 관절에 전단스트레스가 더 증가될 수 있는 중요한 요인이라고 판단된다.

종합해 볼 때, 기본공격과 비교해, 받아치기 C 유형 (선호위치)이 지면반력을 효과적으로 제어함과 동시에 빠른 공격시간을 보였다. 검도경기는 상대방에 의한 다양한 조건에 의해 손 분절의 위치가 변경될 수 있지만, 선호하는 손 분절의 위치 유지가 타격의 성공력을 높임과 동시에 하지의 부상을 감소시킬 수 있는 중요한 요소임을 시사한다. 하지만, 검도선수들의 받아치기 기술을 더 향상시키기 위해서는 지면반력 변인 외에도 각 신체분절 중심위치의 이동궤적, 관절의 최대신전-굴곡의 시간협응 등을 동시에 관찰할 필요성이 있다고 판단된다.

Conclusion

본 연구의 목적은 검도에서 받아치기 동작 시 손 분절위치에 따른 공격시간과 지면반력 변인 간 관계를 분석하였다. 검도선수 10 명을 대상으로 기본공격 (A), 그리고 받아치기 동작을 3 가지 유형 (선호위치, +10 cm[B], 0 cm[C], and -10 cm[D])으로 실시하였다. 공격시간, 좌우 지면반력, 전후 지면반력, 최대수직지면반력, 부하율을 비교 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다. 총 공격시간은 A 와 C 유형이 B 와 D 유형보다 더 빠르게 나타났다. 전-후 지면반력, 최대수직지면반력, 부하율은 A 와 C 유형보다 B 와 D 유형이 더 큰 형태를 보였으며, 통계적으로 유의하였다. 상관분석결과, 공격시간 (BLS, ULS, total)과 지면반력 변인들(최대수직지면반력, 부하율) 간 높은 정적상관을 보였다 (r=.779).

유사한 스포츠 조건에서 신체활동에 익숙하지 않은 선수보다 상대적으로 신체활동이 더 많이 숙련된 운동선수가 빠른 반응시간을 보이며, 최적의 운동성능을 유지하기 위해서는 높은 수준의 각성이 필요하다 (Guizani et al., 2006). 이에 검도선수들의 반응 속도를 높일 수 있는 훈련프로그램 개발 및 적용에 대한 타격동작의 후속연구들이 이루어지길 제언한다.

Reference

Benda, B. J., Riley, P. O., & Krebs, D. E. (1994). Biomechanical relationship between center of gravity and center of pressure during standing. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, 2*(1), 3-10.

Broderick, J., Chart, E., & Ko, M. (2004). *Kendo(martial arts).* London (UK). New Holland Publishers Ltd.

Delignières, D., Brisswalter, J., & Legros, P. (1994). Influence of physical exercise on choice reaction time in sports experts: the mediating role of resource allocation. *Journal of Human Movement Studies, 27*(4), 173-188.

Gregson, W., Drust, B., Atkinson, G., & Salvo, V. D. (2010). Match-to-match variability of high-speed activities in premier league soccer. *International Journal of Sports Medicine, 31*(04), 237-242.

Guizani, S. M., Bouzaouach, I., Tenenbaum, G., & Kheder, A. B. (2006). Simple and choice reaction times under varying levels of physical load in high skilled fencers. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 46*(2), 344.

James, N., Mellalieu, S., & Jones, N. (2005). The development of position-specific performance indicators in professional rugby union. *Journal of Sports Sciences, 23*(1), 63-72.

Kishi, S., & Morikita, I. (2009). Range of motion of hip joints of male university kendo practitioners with lower back pain. *Journal of Physical Therapy Science, 21*(3), 253-256.

Kishi, S., Morikita, I., Takasaki, K., Yamaguchi, T., & Suzuki, T. (2009). Factors responsible for lower back pain in kendo practitioners. *Journal of Physical Therapy Science, 21*(2), 147-154.

Kodek, T., & Munih, M. (2003). An analysis of static and dynamic joint torques in elbow flexion-extension movements. *Simulation Modelling Practice and Theory, 11*(3), 297-311.

Koshida, S., & Matsuda, T. (2013). Ankle and knee joint coordination in sagittal plane during kendo strike-thrust motion in healthy kendo athletes. *Archives of Budo, 1*(9), 109-116.

Lee, J. H., & Lee, Y. S. (2008). A study on the stress and strain analysis of human muscle model in Kendo three typical attack motions. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 25(9), 126-134.

Lee, J. H., Lee, Y. S., & Lee, S. H. (2007). Development on human muscle skeletal model and stress analysis of Kumdo head hitting motion. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 24(11), 116-125.

Lim, K. C. (2000). A kinematic comparison of head-thrust attack with wrist-thrust attack in Gumdo. *Korean Journal of Sport Biomechanics, 12*(5), 63-74.

McGarry, T., & Franks, I. M. (1994). *A stochastic approach to predicting competition squash match-play. Journal of Sports Sciences, 12*(6), 573-584.

Medved, V. (2000). *Measurement of human lovomotion*. Boca Raton London New York Washington, D. D. CRC Press.

Min, C. G., Bae, S. J., & Lee, K. C. (2001). Analysis of factors influencing attack of head in Kumdo Bouts. *Korean Journal of Sport Biomechanics, 11*(1), 1-11.

Montelpare, W., McPherson, M., & Puumala, R. (2013). Statistical analysis of athlete variability applied to biomechanical analysis of ski jumping. *International Journal of Sports Science & Coaching, 8*(2), 373-384.

Neto, O. P., Magini, M., & Saba, M. M. (2007). The role of effective mass and hand speed in the performance of kung fu athletes compared with nonpractitioners. *Journal of Applied Biomechanics, 23*(2), 139-148.

O'Donoghue, P. (2005). Normative profiles of sports performance. *International Journal of Performance Analysis in Sport, 5*(1), 104-119.

Ogle, J., & O'Donoghue, P. (2015). Optimal time of the attacking action in Kendo. *European Journal of Human Movements, 34*, 109-122.

Park, J. R. (2005). The analysis of electromyography and kinematic of Kumdo player's head hitting. *Korean Journal of Sport Biomechanics, 15*(1), 63-74.

Schultzel, M., Schultzel, M., Wentz, B., & Bernhardt, M. (2016). The prevalence of injury in Kendo. *The Physician and Sportsmedicine, 44*(1), 29-33.

Yoo, K. S. (2014). A principle of maximum speed, force and power with a kinetic link model of human body in Kumdo. *The Kumdo Society of Korea, 25*(1), 1-11.