

# Kinematic Sequence Patterns according to Movement Time of Choku-tsuki in Karate Kumite

## 카라테 구미테 정면 지르기의 동작수행시간에 따른 운동학적 시퀀스 패턴

Tae-Whan Kim, Mi-Sun Kim, Joo-Nyeon Kim

Korea Institute of Sport Science, Seoul, South Korea

Received : 24 June 2020

Revised : 07 August 2020

Accepted : 07 August 2020

### Corresponding Author

Joo-Nyeon Kim

Korea Institute of Sport Science,  
727 Hwarang-ro Nowon-gu

Seoul, 01794, South Korea

Tel : +82-10-8164-4152

Fax : +82-43-539-5935

Email : jnkim@kspo.or.kr

**Objective:** The purpose of this study was to investigate the kinematic sequence patterns according to movement times during Karate choku-tsuki.

**Method:** Ten Korea national Karate athletes participated in this study. Participants asked to perform jodan and chudan choku-tsuki. 30 infrared cameras were used to measure angular kinematic of elbow, shoulder, trunk, pelvis, hip, knee, ankle.

**Results:** The two-way repeated measures ANOVA revealed significant effects for the joints ( $p < .05$ ). But no significant effect for the movement time and interaction of joints x movement time existed for the kinematic sequence variables.

**Conclusion:** For karate kumite players to reduce the movement time of punch, it is necessary to train kinematic sequences that allow each joint to rotate at a relatively similar timing.

**Keywords:** Martial arts, Karate kumite, Tsuki, Sundome, Kinetic chain

## INTRODUCTION

운동학적 시퀀스 패턴(kinematic sequence pattern)은 골프·하키·라크로스 같은 라켓 종목과 야구·핸드볼·크리켓과 같은 투구 종목, 태권도·권투·카라테와 같은 격투 종목 등 다양한 스포츠에서 경기력 결정 요인 및 기술수준의 지표로 인식되어 왔다(Fuchs, Lindinger & Schwameder, 2018; Vincent, Chen, Zdziarski, Montes & Vincent, 2015). 이러한 연구들은 모두 손이나 발, 라켓과 같은 원위 분절의 끝점이 최고 속도를 내는데 모션 시퀀싱(motion sequencing)의 목적이 있음을 시사했으며, 연구결과에서 근위-원위 시퀀스(proximal-to-distal sequence)를 나타내거나, 종목 특성에 따라 조정된 패턴을 제시하였다. Estevan, Falco, Silvernail과 Jandacka (2015), Kellis와 Katis (2007)는 태권도 발차기와 축구 킥(kick)에서 근위-원위 시퀀스를 나타낸다고 보고한 반면, Wagner, Pfusterschmied, Von Duvillard와

Müller (2012), Scarborough, Bassett, Mayer와 Berkson (2018), Ibrahim, Faber, Kingma와 van Dieën (2017)은 핸드볼의 스탠딩 슈팅(standing shooting)이나 야구 투수의 피칭(pitching), 필드 하키의 드래그 플릭(drag flick)에서 어깨보다 팔꿈치가 먼저 쓰이는 조정된 근위-원위 시퀀스를 나타낸다고 보고하였다. 또한 Han 등 (2019)은 골프 드라이브(driving)에서 골퍼의 스윙 스타일에 따라 흉추 관절 또는 어깨 관절에서 변화된 근위-원위 시퀀스 패턴을 나타낸다고 보고하였다. 특히 태권도 지르기와 같은 미는 유형(pushing-like motion)의 동작에 대한 운동학적 시퀀스 패턴은 근위와 원위의 최대 속도가 동시 발현하는 동시적인 시퀀스 패턴을 나타낸다는 연구결과(Putnam, 1993; Ryu & Chin, 2018)와 근위-원위 시퀀스의 순차적인 움직임을 보인다는 연구결과(Ryu, 2015; Yoo, Jung & Ryu, 2016)가 대립적이다. 이는 지르기를 수행하는 목적과 상황에 따라 차이를 나타내기 때문에, 해당 종목의 경기력 향상을 위해서 종목 특성을 고려

한 최적의 운동학적 시퀀스 패턴을 밝히는 연구가 필요하다.

카라테(Karate)는 2020년 도쿄 하계 올림픽 정식 종목 선정되어 총 8개의 메달(구미테 6개, 가타 2개)을 획득할 수 있게 되었다. 그 중 구미테(Kumite)는 유효 타격 부위에 득점지표에 부합하는 공격을 가할 경우, 심판의 판정에 의해 점수를 획득하게 되는 대련 종목이다. 하지만 대련 종목임에도 불구하고, 태권도나 복싱과 같이 강한 힘으로 상대를 직접 타격하여 쓰러트리거나 점수를 획득하는 종목이 아닌, 타격점 앞에서 멈춰 직접 타격하지 않는 스포츠(non-contact) 규칙이 적용된다(World Karate Federation [WKF], 2020). 다시 말해 복싱과 같이 상대에게 더 많은 타격 피해를 입히거나, 태권도와 같이 일정 수준 이상의 충격을 가하는 것으로 인해 득점을 하는 것이 아니라, 타격 직전에 공격을 멈추고 그 상황에 대한 유효타 여부가 심판의 판정에 의해 결정되는 것이다. 이러한 경기 규칙은 해당 종목이 무술 또는 대련 종목으로 포함된다 할지라도, 지르기를 성공시키기 위한 경기 운영 전략이 달라진다. 대련 종목에 대한 이전연구들을 살펴보면, 직접 타격 종목은 상대에게 높은 충격력을 가하기 위해 타격 순간에 빠른 손 속도와 더 많은 신체질량의 투입을 강조하였다(Bolander, Neto & Bir, 2009; Loturco, Artioli, Kobal, Gil & Franchini, 2014; Walilko, Viano & Bir, 2005; Smith, Dyson, Hale & Janaway, 2000). 반면에 비타격 종목은 상대방이 움직임을 예측할 수 있는 단서를 줄이고 동작수행시간(movement time)을 최소화해야 하며, 충격없이 공격을 성공시키기 위해 타격이 이뤄지기 직전에 손을 감속시키고, 이를 위해 투입되는 신체질량을 줄이는 것이 점수를 얻는데 중요하다고 제시했다(Fuchs et al., 2018; Hölbling, Preuschl, Hassmann & Baca, 2017; Petri et al., 2017). 결론적으로, 비타격 대련 종목은 지르거나 발차기 등의 공격 기술을 정확하게 상대에게 수행해야 하는 동시에 타격을 가하지 않아야 하기 때문에, 해당 무술 고유의 공격 동작에 추가적인 조정을 필요로 한다.

비타격 규칙에 의한 추가적인 조정은 원위 분절의 끝점의 속도를 제어하기 위해 근위 관절의 각운동량을 낮게 유지하는 것으로 나타난다(Quinzi, Sbriccoli, Alderson, Di Mario & Camomilla, 2014). 즉, 타격점에서 원위 끝점의 최대 속도를 목표로 하는 근위-원위 시퀀스와는 다르게 타격점에서 속도를 0으로 제어해야 하기 위한 조정이 필요하고, 이는 원위 관절의 지연된 사용이 아닌, 동시 사용을 통해 비타격 상황을 연출할 수 있다(Fuchs et al., 2018; Quinzi et al., 2014).

카라테 구미테에서 지르기는 1점을 획득할 수 있고 발차기는 2점과 3점을 획득할 수 있음에도 불구하고, 지르기 기술의 득점 성공률이 발차기 기술보다 높아 훨씬 빈번하게 사용된다(Chaabene et al., 2014; WKF, 2020). 지르기는 신체의 근위 및 원위 분절의 운동사슬(kinetic chain)에 의해 빠른 속도와 큰 힘이 발현되는 공격 기술이다(Turner, Baker & Miller, 2011). 따라

서 카라테 선수들은 공격 기술의 기능적 향상을 위해 각 운동사슬에 기여하는 다양한 근육 그룹의 근파워 훈련을 적용한다(Loturco et al., 2014; Roschel et al., 2009). 하지만 운동사슬에 의해 발현되는 기술은 신체 각 부위를 관장하고 있는 근육의 근파워 향상뿐만 아니라, 다관절 시스템의 조정능력의 발달에 의해 향상되며, 이는 반복적인 운동학습(motor learning)에 의해 완성된다(Ferreir & Brito, 2010; VencesBrito, Ferreira, Cortes, Fernandes & Pezarat-Correia, 2011). 이전 연구에서 카라테 기술 향상을 위한 운동학습을 위해 지르기 동작에 대한 운동학적 시퀀스를 조사하였지만, 일부 원위 분절에 대한 연구결과만 제시하였기 때문에 근위 분절과 원위 분절의 복합적인 조정 훈련에 적용하는데 어려움이 있다(VencesBrito et al., 2011). 또한 카라테에서 상대의 움직임에 반응한 지르기 공격은 수행 시간을 최소화하기 위한 동작을 수행한 반면, 선공을 할 때에는 최대 속도를 내기 위한 동작을 나타냈다(Martinez de Quel & Bennett, 2014). 최대 속도를 내기 위한 동작은 근위에 비해 원위부의 지연된 움직임을 보이기 때문에 지르기의 수행시간이 길어지고, 이는 짧은 수행시간이 경기의 성패를 결정하는 비타격 종목인 카라테 구미테에서 공격의 실패를 가져올 수 있다. 따라서 카라테 선수들은 어떠한 공격 상황에서도 수행 시간을 최소화할 수 있는 동작이 나타날 수 있도록 반복적인 운동학습을 실시해야 하며, 이를 위한 최적의 운동학적 시퀀스에 대한 조사가 필요하다. 따라서 본 연구의 목적은 카라테 국가대표 선수가 상단 지르기와 하단 지르기 수행 시 동작수행 시간이 짧은 동작과 긴 동작으로 분류하고, 근위 및 원위 관절의 각운동학 분석을 통해 운동학적 시퀀스 패턴의 차이를 밝히는데 있다.

## METHOD

### 1. 연구대상자

본 연구의 대상으로 대한민국 카라테 전체급의 국가대표 선수 10명(body mass: 70.40±13.57 kg, height: 168.30±7.65 cm, Career: 7.80±2.62 yrs)이 참여하였다. 모든 연구대상자는 최근 6개월 이내 상·하지 근골격계 상해 병력이 없고, 현재 지속적으로 훈련에 참여하고 있는 선수로 선정하였다. 실험을 진행하기 이전에 본 연구에 대한 충분한 설명 후, 연구 참여 동의서를 작성한 선수에 한하여 실험에 참여하였다.

### 2. 실험절차

정면 지르기 수행 시, 연구대상자의 동작에 대한 3차원 운동학적 분석을 실시하기 위해 30대의 적외선 카메라(Oqus700+, Qualisys, Sweden)를 사용하였고, 샘플링율(sampling rate)은

200 Hz로 설정하였다. 연구대상자의 몸통, 골반 및 상·하지를 모델링하기 위해 반사마커 48개를 각 분절 및 관절점에 부착하였다. 정면 지르기의 목표물로 고정된 미트를 사용하였고, 실험 전 각 선수가 상단 지르기(jodan choku-tsuki)와 중단 지르기(chudan choku-tsuki) 시 선호하는 거리와 높이에 설치하였다. 동작 수행 전, 충분한 준비 운동과 정면 지르기 동작을 연습할 수 있는 시간을 제공하였다. 카라테는 상대가 있는 대련 스포츠로, 상대의 상태에 따라 반응하여 공격 여부를 결정할 뿐만 아니라, 스스로 공격을 시작하는 것(self-initiated)보다 상대의 동작에 반응하여 공격(reactive) 할 때 동작수행시간이 짧기 때문에(Martinez de Quel & Bennett, 2014), 카라테 구미테의 현장성을 높이고 카라테 선수의 지르기 동작수행시간의 단축을 유도하기 위해 레이저 신호에 반응하여 상단 지르기 및 중단 지르기를 수행하였다. 이때 각 선수들에게는 가장 빠른 지르기를 수행하도록 요구하였으며, 그 이외 별도의 조건을 제시하지 않았고, 이후 동작수행시간 분석을 통해 두 가지로 분류하였다. 모든 카라테 선수는 상단 지르기와 중단 지르기를 각각 6회씩 실시하였으며, 두 지르기의 수행 순서는 무작위로 선정하여 한 가지 지르기 실시 후 다음 지르기를 수행하였다. 이때 지르는 손의 반대 손에 대한 움직임은 제한을 두지 않았다.

3. 자료처리

카라테 선수에게 부착된 반사마커의 3차원 위치데이터는 Visual3D (C-motion, USA)를 이용해 자료처리를 실시하였다. 각 위치데이터는 Butterworth 2nd order low-pass filter를 사용해 노이즈를 제거하였고, 이때 차단주파수는 6 Hz로 설정하였다.

전역좌표계(global coordinate system)는 지르기 방향을 전후축(anteroposterior axis), 위쪽을 수직축(vertical axis), 그리고 두 축의 수직 방향을 좌우축(mediolateral axis)로 설정하였다. Static trial에서 획득한 마커의 위치데이터를 기반으로 분절 중심점에 지역좌표계(local coordinate system)를 설정하고 Cardan Xyz rotation sequence를 활용하여 각 분절 및 관절의 3차원 각도를 계산하였다. 운동학적 시퀀스 분석을 위해 지르기 시 주먹(손 분절)을 목표물의 방향으로 이동하는데 기여하는 분절 및 관절의 움직임을 산출하였다(Fuch et al., 2018; Tunner et al., 2011): 골반·몸통 수직축 회전(pelvis-trunk axial rotation), 어깨 관절 굴곡(shoulder joint flexion), 팔꿈치 신전(elbow joint extension). 각 움직임에 관한 분석변인으로 최대 각도(maximum angle [deg]), 최소 각도(minimum angle [deg]), 최대 각속도(maximal angular velocity [deg/s]), 최대 각속도 발현시간(timing of maximal angular velocity [ms]), 각속도 시작시간(initiation timing of angular velocity [ms]; 최대값 도달 전 각속도가 음의 값에서 양의 값이 되는 시점), 최대 각가속도(maximal angular acceleration [deg/s<sup>2</sup>]), 최대 각가속도 발현시간(timing of maximal angular acceleration [ms])을 산출하였다. 이때 시간변인은 임팩트 시점을 0으로 하여 산출하였고, 각도변인은 지르기 동작을 수행하기 전, 서기 자세로부터 각도의 변화량을 산출하였다.

카라테 선수의 정면 지르기 동작은 레이저의 아날로그 신호가 들어오는 시점부터 카라테 선수가 지르기 동작을 시작하는 시점까지를 반응구간(reaction phase), 지르기 동작을 시작하는 시점부터 지르기의 임팩트 순간까지를 동작수행구간(movement phase)으로 구분하였다(Figure 1). 지르기 동작의 시작시점은 카라테 선수의 앞발과 뒷발에 각각 지면반력기

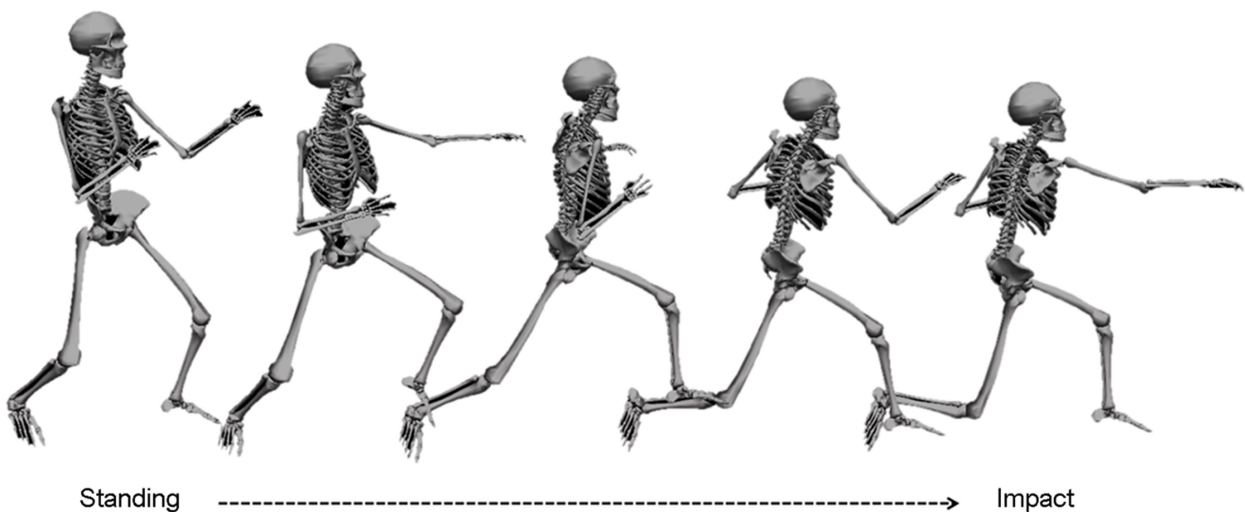


Figure 1. Movement description and phase definitions of the choku-tsuki.

(Kistler 9286BA, Kistler, Switzerland)를 설치하여 움직임이 없는 반응구간에서 나타나는 수직지면반력 값으로 부터 뒷발에 10 N 이상 전이되는 순간으로 설정하였고, 임팩트 순간은 주

먹과 목표물의 전후 거리가 가장 짧은 순간으로 설정하였다. 이때 동작수행구간의 소요시간이 가장 짧은 동작을 FAST, 가장 느린 동작을 SLOW로 분류하여, 반응시간을 제외한 동작수행구간에서 나타나는 운동학적 시퀀스를 비교분석 하였다 (Table 1).

**Table 1.** Average  $\pm$  standard deviation of the movement time of choku-tsuki and paired *t*-test results (unit: sec)

| Choku-tsuki | Movement time   |                 | Paired <i>t</i> -test<br><i>t</i> -value ( <i>p</i> -value) |
|-------------|-----------------|-----------------|---|
|             | SLOW            | FAST            |   |
| Jordan      | 0.50 $\pm$ 0.07 | 0.43 $\pm$ 0.12 | <b>3.280 (.010)</b>   |
| Chudan      | 0.52 $\pm$ 0.06 | 0.42 $\pm$ 0.08 | <b>4.358 (.002)</b>   |

**4. 통계처리**

두 가지 동작수행시간(movement time)의 차이를 통계적으로 확인하기 위해 대응표본 *t* 검정(paired *t*-test)을 실시하였고, 이원반복측정 분산분석(two-way repeated measure ANOVA)를 실시하여 주효과 'Movement time'과 주효과 'Joint', 그리고

**Table 2.** Average  $\pm$  standard deviation of the kinematic variables and results of two-way ANOVA with repeated measure during the jodan choku-tsuki in karate kumite

| Variables                                      | Mean $\pm$ standard deviation |                    | <i>F</i> -value ( <i>p</i> -value)<br>Main effect 'MT'<br>Main effect 'Joint'<br>Interaction 'MT' $\times$ 'Joint' | Post hoc   |
|--|-------------------------------|--------------------|--|--|
|  | SLOW                          | FAST               |  |  |
| <b>Maximum angle (deg)</b>                     |                               |                    |  |  |
| Pelvic rotation                                | 51.4 $\pm$ 11.6               | 44.6 $\pm$ 13.0    |  |  |
| Trunk rotation                                 | 89.4 $\pm$ 18.0               | 84.8 $\pm$ 15.5    | 2.870 (.125)   | SLOW: P < T / S / E<br>FAST: P < T / S / E                                     |
| Shoulder flexion                               | 93.3 $\pm$ 15.9               | 88.9 $\pm$ 16.1    | <b>19.847 (.000)</b>   |  |
| Elbow extension                                | 101.2 $\pm$ 17.6              | 102.6 $\pm$ 14.8   | 2.300 (.100)   |  |
| <b>Minimum angle (deg)</b>                     |                               |                    |  |  |
| Pelvic rotation                                | -1.4 $\pm$ 2.8                | -1.4 $\pm$ 3.4     |  |  |
| Trunk rotation                                 | -1.1 $\pm$ 1.4                | -0.8 $\pm$ 1.4     | <b>14.995 (.004)</b>   | SLOW: E / S < P / T<br>FAST: E < S / P / T<br>S: SLOW < FAST<br>E: SLOW < FAST |
| Shoulder flexion                               | -9.6 $\pm$ 8.9                | -3.6 $\pm$ 3.9     | <b>SLOW: 9.292 (.002)</b>  |  |
| Elbow extension                                | -12.1 $\pm$ 7.9               | -8.6 $\pm$ 7.1     | <b>FAST: 7.099 (.008)</b>  |  |
|  |                               |                    |  |  |
| <b>Maximal angular velocity (deg/s)</b>        |                               |                    |  |  |
| Pelvic rotation                                | 303.1 $\pm$ 58.6              | 297.2 $\pm$ 63.2   |  |  |
| Trunk rotation                                 | 522.2 $\pm$ 105.4             | 517.4 $\pm$ 101.6  | .024 (.880)  | SLOW: P < S / T < E<br>FAST: P < S / T < E                                     |
| Shoulder flexion                               | 460.9 $\pm$ 147.5             | 452.9 $\pm$ 140.5  | <b>112.027 (.000)</b>  |  |
| Elbow extension                                | 1236.5 $\pm$ 180.7            | 1262.3 $\pm$ 195.0 | .373 (.654)  |  |
|  |                               |                    |  |  |
| <b>Timing of maximal angular velocity (ms)</b> |                               |                    |  |  |
| Pelvic rotation                                | -19.7 $\pm$ 3.6               | -20.7 $\pm$ 4.9    |  |  |
| Trunk rotation                                 | -16.6 $\pm$ 3.7               | -15.7 $\pm$ 4.8    | .017 (.900)  | SLOW: P < T < S < E<br>FAST: P < T < S < E                                     |
| Shoulder flexion                               | -10.6 $\pm$ 2.3               | -11.3 $\pm$ 4.2    | <b>70.887 (.000)</b>   |  |
| Elbow extension                                | -7.3 $\pm$ 2.4                | -7.0 $\pm$ 2.1     | 1.565 (.241)   |  |
|  |                               |                    |  |  |

**Table 2.** Average  $\pm$  standard deviation of the kinematic variables and results of two-way ANOVA with repeated measure during the jodan choku-tsuki in karate kumite (Continued)

| Variables  | Mean $\pm$ standard deviation |                      | <i>F</i> -value ( <i>p</i> -value)   |  |
|--|-------------------------------|----------------------|--|--|
|  | SLOW                          | FAST                 | Main effect 'MT'<br>Main effect 'Joint'<br>Interaction 'MT' $\times$ 'Joint' | Post hoc                                   |
| Initiation timing of angular velocity (ms)         |                               |                      |  |  |
| Pelvic rotation                                    | -38.9 $\pm$ 9.9               | -36.8 $\pm$ 8.4      | .094 (.766)<br><b>14.145 (.001)</b><br>.864 (.405)                           | SLOW: P / T < S < E<br>FAST: P / T / S < E |
| Trunk rotation                                     | -35.8 $\pm$ 7.4               | -33.9 $\pm$ 6.3      |  |  |
| Shoulder flexion                                   | -26.6 $\pm$ 11.2              | -28.1 $\pm$ 12.0     |  |  |
| Elbow extension                                    | -17.1 $\pm$ 7.44              | -18.0 $\pm$ 8.6      |  |  |
| Maximal angular acceleration (deg/s <sup>2</sup> ) |                               |                      |  |  |
| Pelvic rotation                                    | 3802.8 $\pm$ 1060.0           | 3930.0 $\pm$ 705.3   | .080 (.784.)<br><b>156.843 (.000)</b><br>.360 (.782)                         | SLOW: P < T < S < E<br>FAST: P / T < S < E |
| Trunk rotation                                     | 5287.8 $\pm$ 1614.9           | 5547.8 $\pm$ 2173.1  |  |  |
| Shoulder flexion                                   | 9173.6 $\pm$ 2647.8           | 8781.4 $\pm$ 2209.7  |  |  |
| Elbow extension                                    | 18614.5 $\pm$ 3484.3          | 18268.2 $\pm$ 2862.3 |  |  |
| Timing of maximal angular acceleration (ms)        |                               |                      |  |  |
| Pelvic rotation                                    | -25.9 $\pm$ 4.0               | -26.4 $\pm$ 5.5      | .014 (.908.)<br><b>149.868 (.000)</b><br>.387 (.657)                         | SLOW: P / T < S < E<br>FAST: P / T < S < E |
| Trunk rotation                                     | -25.3 $\pm$ 3.9               | -25.1 $\pm$ 5.5      |  |  |
| Shoulder flexion                                   | -14.6 $\pm$ 4.4               | -15.1 $\pm$ 5.0      |  |  |
| Elbow extension                                    | -10.9 $\pm$ 2.1               | -10.6 $\pm$ 2.2      |  |  |

Note. Bold: a significant difference at  $p < .05$ , MT: movement time, P: pelvis, T: trunk, S: shoulder, E: elbow

상호작용 'Joint  $\times$  Movement time'을 분석하였고, 사후검정은 Bonferroni correction을 실시하여 운동학적 시퀀스를 분석하였다. 이원반복측정 분산분석 결과 상호작용이 나타날 경우, SLOW와 FAST를 분류하여 요인 'Joint'에 대한 일원반복측정 분산분석을 실시하고, 사후검정을 실시하였다. 이때 SPSS statistics 23 (IBM, USA)을 사용하였으며, 유의수준은  $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

## RESULTS

### 1. 상단 지르기(jodan choku-tsuki)

상단 지르기에서는 최대 각도, 최대 각속도, 각속도 시작시간, 최대 각속도 발현시간, 최대 각가속도, 최대 각가속도 발현시간에서 상호작용 'Joint  $\times$  Movement time'과 주효과 'Movement time'에 대한 유의한 차이는 나타나지 않은 반면, 주효

과 'Joint'에 유의한 차이를 나타냈고( $p < .05$ ), 사후검정 결과는 (Table 2)에 제시하였다. 또한 최소 각도에서는 상호작용 'Joint  $\times$  Movement time'을 나타냈고( $p < .05$ ), 요인 'Joint'에 대한 반복측정 일원변량분석을 실시한 결과, SLOW와 FAST 모두 유의한 차이를 나타냈다( $p < .05$ ). 사후검정 결과는 (Table 2)에 제시하였다.

### 2. 중단 지르기(chudan choku-tsuki)

중단 지르기에서는 최대 각도, 최대 각속도, 각속도 시작시간, 최대 각속도 발현시간, 최대 각가속도, 최대 각가속도 발현시간에서 상호작용 'Joint  $\times$  Movement time'과 주효과 'Movement time'에 대한 유의한 차이는 나타나지 않은 반면, 주효과 'Joint'에 유의한 차이를 나타냈고( $p < .05$ ), 사후검정 결과는 (Table 3)에 제시하였다. 또한 최소 각도에서는 상호작용 'Joint  $\times$  Movement time'을 나타냈고( $p < .05$ ), 요인 'Joint'에 대한 반

**Table 3.** Average  $\pm$  standard deviation of the kinematic variables and results of two-way ANOVA with repeated measure during the chudan choku-tsuki in karate kumite

| Variables   | Mean $\pm$ standard deviation |                      | <i>F</i> -value ( <i>p</i> -value)   |  |
|---|-------------------------------|----------------------|--|--|
|   | SLOW                          | FAST                 | Main effect 'MT'<br>Main effect 'Joint'<br>Interaction 'MT' $\times$ 'Joint'     | Post hoc   |
| <b>Maximum angle (deg)</b>                              |                               |                      |  |  |
| Pelvic rotation   | 51.5 $\pm$ 12.4               | 50.0 $\pm$ 9.3       | <b>.640 (.444)</b><br><b>23.868 (.000)</b><br>.553 (.533)                        | SLOW: P < S < T / E<br>FAST: P < S < T / E                                     |
| Trunk rotation  | 98.3 $\pm$ 19.3               | 100.7 $\pm$ 11.8     |  |  |
| Shoulder flexion  | 81.2 $\pm$ 22.8               | 75.9 $\pm$ 14.9      |  |  |
| Elbow extension   | 105.9 $\pm$ 15.4              | 103.7 $\pm$ 15.0     |  |  |
| <b>Minimum angle (deg)</b>                              |                               |                      |  |  |
| Pelvic rotation   | -2.1 $\pm$ 3.5                | -0.5 $\pm$ 0.9       | <b>28.895 (.000)</b><br><b>SLOW: 22.139 (.000)</b><br><b>FAST: 15.469 (.000)</b> | SLOW: S < E < T / P<br>FAST: S < E < T < P<br>S: SLOW < FAST<br>E: SLOW < FAST |
| Trunk rotation  | -2.9 $\pm$ 3.5                | -1.4 $\pm$ 1.6       |  |  |
| Shoulder flexion  | -19.7 $\pm$ 8.0               | -15.8 $\pm$ 10.1     |  |  |
| Elbow extension   | -10.9 $\pm$ 7.4               | -8.3 $\pm$ 6.9       |  |  |
| <b>Maximal angular velocity (deg/s)</b>                 |                               |                      |  |  |
| Pelvic rotation   | 303.4 $\pm$ 67.1              | 295.1 $\pm$ 62.9     | <b>.931 (.360)</b><br><b>175.062 (.000)</b><br>.095 (.881)                       | SLOW: P < S / T < E<br>FAST: P < S / T < E                                     |
| Trunk rotation  | 564.9 $\pm$ 140.3             | 541.2 $\pm$ 118.5    |  |  |
| Shoulder flexion  | 430.8 $\pm$ 121.0             | 424.2 $\pm$ 112.1    |  |  |
| Elbow extension   | 1315.4 $\pm$ 150.0            | 1293.6 $\pm$ 104.9   |  |  |
| <b>Timing of maximal angular velocity (ms)</b>          |                               |                      |  |  |
| Pelvic rotation   | -21.5 $\pm$ 5.4               | -18.8 $\pm$ 4.8      | <b>3.025 (.116)</b><br><b>65.480 (.000)</b><br>3.241 (.071)                      | SLOW: P < T < S < E<br>FAST: P < T < S < E                                     |
| Trunk rotation  | -17.0 $\pm$ 4.2               | -15.7 $\pm$ 4.5      |  |  |
| Shoulder flexion  | -10.2 $\pm$ 3.4               | -9.9 $\pm$ 2.5       |  |  |
| Elbow extension   | -6.9 $\pm$ 1.6                | -6.0 $\pm$ 1.3       |  |  |
| <b>Initiation timing of angular velocity (ms)</b>       |                               |                      |  |  |
| Pelvic rotation   | -37.3 $\pm$ 6.2               | -39.5 $\pm$ 6.2      | <b>1.990 (.192)</b><br><b>51.484 (.000)</b><br>.228 (.806)                       | SLOW: P < T < S < E<br>FAST: P / T < S / E                                     |
| Trunk rotation  | -33.7 $\pm$ 6.7               | -36.7 $\pm$ 8.8      |  |  |
| Shoulder flexion  | -18.6 $\pm$ 2.4               | -19.8 $\pm$ 3.6      |  |  |
| Elbow extension   | -15.2 $\pm$ 4.0               | -18.8 $\pm$ 9.7      |  |  |
| <b>Maximal angular acceleration (deg/s<sup>2</sup>)</b> |                               |                      |  |  |
| Pelvic rotation   | 3541.1 $\pm$ 955.3            | 3504.4 $\pm$ 896.5   | <b>.008 (.930)</b><br><b>183.928 (.000)</b><br>.382 (.767)                       | SLOW: P < T < S < E<br>FAST: P < T < S < E                                     |
| Trunk rotation  | 5678.5 $\pm$ 2271.3           | 6132.7 $\pm$ 2006.9  |  |  |
| Shoulder flexion  | 9295.0 $\pm$ 2125.2           | 8911.1 $\pm$ 1786.1  |  |  |
| Elbow extension   | 19258.2 $\pm$ 3218.1          | 19336.3 $\pm$ 2543.6 |  |  |



**Table 3.** Average ± standard deviation of the kinematic variables and results of two-way ANOVA with repeated measure during the chudan choku-tsuki in karate kumite (Continued)

| Variables                                   | Mean ± standard deviation |           | F-value (p-value)   | Post hoc            |
|---|---------------------------|-----------|---|---------------------|
|   | SLOW                      | FAST      | Main effect 'MT'<br>Main effect 'Joint'<br>Interaction 'MT' × 'Joint' |                     |
| Timing of maximal angular acceleration (ms) |                           |           |   |                     |
| Pelvic rotation                             | -28.1±5.6                 | -25.3±3.7 |   |                     |
| Trunk rotation                              | -25.6±4.8                 | -25.0±3.2 | 1.751 (.218)  | SLOW: P / T < S < E |
| Shoulder flexion                            | -14.2±5.2                 | -14.6±3.9 | <b>147.205 (.000)</b>   | FAST: P / T < S < E |
| Elbow extension                             | -10.4±1.7                 | -9.5±1.6  | 2.093 (.168)  |                     |

Note. Bold: a significant difference at  $p < .05$ , MT: movement time, P: pelvis, T: trunk, S: shoulder, E: elbow

복측정 일원변량분석을 실시한 결과, SLOW와 FAST 모두 유의한 차이를 나타냈다( $p < .05$ ). 사후검정 결과는 (Table 3)에 제시하였다.

## DISCUSSION

카라테 구미테는 비타격 종목의 특성에 따라 충격력을 최대화하여 큰 피해를 주는 대신, 동작수행시간을 최소화하여 유효 타격 부위에 공격동작을 완료하는 것이 득점성공요인이 된다. 특히 득점 성공률이 높은 지르기(직격)는 얼굴을 공격하는 상단 지르기와 몸통을 공격하는 중단 지르기 모두 빈번하게 사용된다. 하지만 카라테 현장에서 지르기 훈련은 동작수행시간을 줄이기 위해 오직 근파워 훈련에 의존하고 있을 뿐, 타격력 증가에서 자유로운 비타격 종목의 특성을 고려한 기술 훈련은 이뤄지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 카라테 구미테 시합 상황을 시뮬레이션 하여 국가대표 선수가 가장 빠른 지르기를 수행하도록 하고, 동작수행시간에 따른 운동학적 시퀀스를 비교분석 하여 운동사슬을 고려한 훈련 방식을 제안하고자 하였다.

모션 시퀀스는 각속도에 따라 동작 순서를 정의하며, 최대 각속도의 발현시간을 분석하는 것이 가장 일반적인 방법으로 제시되어 왔다(Wagner et al., 2014). 지르기는 가능한 짧은 시간 안에 주먹이 목표에 닿아야 하는 대표적인 탄도 운동(ballistic movement)으로, 본 연구결과와 관절 간 최대 각속도 발현시간의 유의한 차이에서 나타난 것과 같이 모든 지르기 관련 연구에서 근위-원위 시퀀스를 제안했다(Vences Brito et al., 2011). 따라서 원위 분절의 빠른 이동을 위해 질량이 큰 근위 분절의 움직임을 우선적으로 이용하는 근위-원위 시퀀스는 비타격 종목인 카라테 구미테의 지르기에서도 타격 종목과 다르

지 않고, 동작수행시간 간에도 동일 패턴의 시퀀스를 나타내는 것을 알 수 있었다. 지르기 동작을 분석한 이전 연구자들은 탄도 운동을 지배하고 있는 근위-원위 시퀀스에서 좀 더 세분화된 지르기 형태에 대한 개념의 차별화를 위해 각속도가 증가되는 시점(음의 값에서 양의 값으로 변화되는 시점)을 제안했고(Fuchs et al., 2018; Wagner et al., 2012), 본 연구에서 동작수행시간에 따른 모션 시퀀싱을 차별화하기 위해 적용하였다.

본 연구의 각속도 시작시간 분석결과에서 동작수행시간에 따른 동일 관절 간의 유의한 차이는 나타나지 않았다. 일정 수준 이상의 경기력을 갖는 우수 선수는 고유의 운동학적 패턴을 유지하기 때문에(Vences Brito et al., 2011), 각 선수에게 주어진 과제가 한 가지(가장 빠른 지르기)인 점과 동작수행시간으로 분류된 두 지르기의 전체 시간차가 0.07~0.10초임을 고려하였을 때, 관절 간 유의한 차이를 기대하기는 어렵다. 하지만, 운동학적 시퀀스 패턴은 중단 지르기 및 상단 지르기 모두 동작수행시간에 따라 다른 패턴을 나타냈다. 상단 지르기의 경우 "골반/몸통→어깨→팔꿈치" 시퀀스 보다, "골반/몸통/어깨→팔꿈치" 시퀀스에서 더 짧은 동작수행시간을 나타냈다. 또한 중단 지르기의 경우 "골반→몸통→어깨→팔꿈치"의 완전한 근위-원위 시퀀스 보다, "골반/몸통→어깨/팔꿈치" 시퀀스에서 더 짧은 동작수행시간을 나타냈다. 이는 근위-원위 시퀀스에 가까울수록 동작수행시간의 증가를 보이고, 조정된 시퀀스 형태를 나타낼수록 감소하는 것으로 보인다. 일반적으로 근위-원위 시퀀스의 목적은 질량이 큰 근위 분절을 우선 활용하여 발생한 각운동량을 원위 분절까지 전이시켜, 말단 분절의 최고 속도를 증가시키거나 충격력을 증가시키는데 있다(Wagner, Pfusterschmied, Von Duvillard & Müller, 2011). 하지만 근위-원위 시퀀스를 이용한 동작은 근위 분절의 우선적인 움직임이 일어날 때 원위 분절이 상대적으로 지연된 움직임을 나타내기

때문에, 최고 속도를 발현할 수 있는 장점이 있는 반면, 동작을 완료하는 데까지 소요되는 시간이 길어진다. 실제로, 본 연구결과의 상단 지르기과 중단 지르기 모두 근위-원위 시퀀스를 활용한 SLOW에서 모든 관절의 최대 각속도가 더 높은 경향이 나타났다. 그럼에도 불구하고 SLOW에서 몸통이나 어깨, 팔꿈치에서 비교적 지연된 움직임은 보였으며, 결과적으로 동작수행시간이 증가된 것으로 나타났다. 이전 연구에 따르면, 최고 속도나 충격력 면에서 손해를 보더라도 동작수행시간을 짧게 하기 위해서는 근위 분절과 원위 분절의 순차적인 움직임이 아닌 동시에 움직이는 동시동작 시퀀스(simultaneous motion sequence)를 활용해야 한다고 보고되고 있다(Fuchs et al., 2018; Putnam, 1993). 본 연구결과를 살펴보면 동작수행시간을 줄이기 위해 조정된 근위-원위 시퀀스 패턴을 나타낸 반면, 골반·몸통·어깨·팔꿈치의 움직임 순서가 역전되는 변화는 나타나지 않았다. 즉, 기존의 근위-원위 시퀀스를 상단 지르기에서는 골반·몸통·어깨를 동시에 시작한 후 팔꿈치를 움직이고, 중단 지르기에서는 골반·몸통을 동시에 시작한 후 어깨·팔꿈치를 동시에 시작하는 운동학적 시퀀스로 조정하는 것이다. 이는 근위-원위 시퀀스가 지배하고 있는 탄도 운동의 기본적인 메커니즘을 유지하면서 근위 분절과 원위 분절 움직임 간에 지연을 최소화하여 동작수행시간을 감소시키는 전략으로 보인다. 이는 타격 직전 주먹의 속도를 0으로 만든 후, 추가적으로 주먹을 회수하는 동작이 동반되는 비타격 종목의 특성에 따라, 타격시점에서 유효질량의 투입을 증가시키는 원위 분절의 지연된 움직임이 필요하지 않기 때문에 가능한 전략이다 (Bolander et al., 2009). 또한 상단 지르기에서 어깨 관절의 비교적 이른 시작은 목표점의 높이가 높아짐에 따라 어깨의 최대 굴곡각이 증가되어야 하기 때문에, 가동범위의 차이에 따라 좀 더 이른 시작이 요구되는 것으로 생각된다.

본 연구결과에서 주목해야 할 부분은 최소 각도에서 나타난 유의한 차이에 있다. 상단 지르기와 중단 지르기 모두 골반과 몸통에서 SLOW와 FAST 간에 유의한 차이는 나타나지 않은 반면, 어깨와 팔꿈치는 SLOW에서 유의하게 감소되었다. 또한 상단 지르기와 중단 지르기 모두 동작수행시간과 관절 간에 상호작용을 나타냈다. 여기서 각도변인은 카라테 선수의 서기 자세에서 나타나는 각도를 이용해 정규화(normalization) 하여 동작 수행 시 나타나는 각도의 변화량을 산출하였기 때문에, 최소 각도에서 나타난 음의 값(negative value)은 해당 관절의 백스윙(backswing)을 의미한다(Fuchs et al., 2018). 운동 수행에 있어 백스윙은 신장-단축 주기(stretch shortening cycle)의 활용과 가속구간을 늘리기 위한 관절가동범위의 증가를 목적으로 하는 속도 향상 요인이다(Newton et al., 1997). 무술에서 펀칭(punching)을 위한 백스윙은 근위-원위 시퀀스에 의한 원위 분절의 지연된 움직임에서 비롯된다. 즉, 근위 분절이 우선적으로 회전할 때 해당 근육의 원심성 수축(eccentric contraction)에 의

해 원위 분절이 상대적으로 제자리를 유지하면서, 라켓 운동의 능동적인 백스윙과는 반대로 수동적인 형태의 백스윙이 이뤄지는 것이다(Quinzi et al., 2014). 백스윙은 무술에서 더 긴 동작수행시간을 야기시키는 요인으로 잘 알려져 있으며, 이는 공격에 대한 예측을 가능하게 하고 상대방의 반응을 유발할 수 있기 때문에, 지양하는 동작이다. 본 연구에서 카라테 구미테 선수들은 상단 지르기와 중단 지르기 모두 골반과 몸통에서는 앞발의 전진 스텝(forward step)에 의한 미비한 백스윙만 관찰될 뿐, 동작수행시간에 영향을 미치지 않은 조정된 움직임을 나타낸 반면, 어깨와 팔꿈치의 경우 지나친 백스윙이 동작수행시간을 증가시키는 것으로 관찰되었다. 백스윙에 의한 관절가동범위의 증가는 운동학적 시퀀스에 영향을 미치는 모션 특성으로 보고되고 있기 때문에(Fuchs et al., 2018), 상단 지르기와 중단 지르기 모두 FAST에 비해 SLOW에서 어깨와 팔꿈치의 지연된 시작을 보이는 경향을 설명할 수 있다.

탄도 운동에서 나타나는 근위-원위 시퀀스는 가동범위나 속도 및 가속도 측면에서 골반이 가장 중점적인 역할을 한다고 보고된 반면(Wagner et al., 2011), 동시동작 시퀀스에서는 골반 및 몸통의 동시 시작과 어깨 및 팔꿈치의 동시 시작이 중요하다고 보고되었다(Fuchs et al., 2018). 본 연구결과를 통해 카라테 구미테 선수들은 동작수행시간을 감소하여 상단 지르기 공격을 성공시키기 위해, 이미 골반과 몸통이 동시 시작하는 조정된 근위-원위 시퀀스를 갖고 있는 반면, 어깨와 팔꿈치의 움직임에 있어서는 일관된 움직임을 보이지 않는 것으로 나타났다. 또한 중단 지르기는 근위-원위 시퀀스와 동시동작 시퀀스 모두 나타났다. 긍정적인 부분은 카라테 구미테 선수들은 반복된 훈련 및 시합 경험으로 인해 이미 조정된 근위-원위 시퀀스를 갖고 있다는 점이다. 하지만 극한의 반응에 대처해야 하는 상황에서는 일관된 시퀀스 패턴을 나타내지 못하며, 이는 시합 상황에서 지르기 공격의 성공과 실패에 분명한 영향을 미칠 것으로 생각된다. 따라서 동작수행시간을 최소화할 수 있는 운동학적 시퀀스 패턴을 일관적으로 사용할 수 있는 반복적인 훈련이 필요하다. 먼저, 원위 분절의 지연된 움직임으로 인한 동작수행시간의 증가를 방지하기 위해 어깨와 팔꿈치의 백스윙이 없이 어깨 굴곡과 팔꿈치 신전이 이뤄지도록 훈련해야 한다. 또한, 타점이 높은 상단 지르기 시 몸통·골반과 어깨가 동시 시작하는 운동학적 시퀀스 패턴을, 타점이 낮은 중단 지르기 시 몸통과 골반이 동시 시작한 후 어깨와 팔꿈치가 동시 시작하는 운동학적 시퀀스 패턴을 익힐 수 있는 반복적인 훈련이 이뤄져야 한다. 지르기의 동작수행시간을 단축시키기 위해 근파워 증가를 위한 체력훈련과 동시에 이러한 운동학적 시퀀스 패턴을 조정하는 기술 훈련이 더해진다면, 카라테 구미테 선수의 경기력 향상을 기대할 수 있을 것이다.



## CONCLUSION

본 연구는 카라테 구미테 국가대표 선수의 상단 지르기과 중단 지르기 대한 운동학적 분석을 실시하여 동작수행시간에 따른 운동학적 시퀀스 패턴의 차이를 조사하였다. 10명의 선수는 신호에 반응하여 가장 빠른 지르기를 수행하였으며, 이를 동작수행시간이 짧은 지르기(FAST)와 긴 지르기(SLOW)로 분류하여 운동학적 시퀀스 패턴을 분석하였다. 주어진 한 가지 과제에서 두 가지 조건으로 분류하여 미비한 차이를 나타냈음에도 불구하고, 운동학적 시퀀스 패턴에는 명확한 차이가 있었고, 상단 지르기와 중단 지르기 각각의 훈련 방향을 제시하였다. 동작수행시간이 긴 지르기 동작은 근위-원위 시퀀스에 가깝게 나타낸 반면, 동작수행시간이 짧은 지르기 동작은 근위-원위 시퀀스에서 일정부분 동시 시작 시퀀스로 조정된 것을 보였다. 상단 지르기는 골반과 몸통, 어깨가 동시 시작하였으며, 중단 지르기는 골반과 몸통이 동시 시작한 후 어깨와 팔꿈치가 동시 시작하였다. 또한 두 지르기 모두 어깨와 팔꿈치의 최소 각도의 증가에 따라 동작수행시간이 증가하는 영향을 나타냈다. 따라서 카라테 구미테 선수가 지르기 유형에 따라 근위와 원위관절을 부분적으로 동시 시작하는 조정된 근위-원위 시퀀스를 의식적으로 수행할 수 있도록 반복적인 지르기 훈련이 필요하다.

## REFERENCES

- Bolander, R. P., Neto, O. P. & Bir, C. A. (2009). The effects of height and distance on the force production and acceleration in martial arts strikes. *Journal of Sports Science & Medicine*, 8(CSSI3), 47-52.
- Chaabene, H., Franchini, E., Miarka, B., Selmi, M. A., Mkaouer, B. & Chamari, K. (2014). Time-motion analysis, physiological and rate of perceived exertion responses to karate official combats: Is there a difference between winners and defeated karatekas. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(2), 302-308.
- Estevan, I., Falco, C., Silvernail, J. F. & Jandacka, D. (2015). Comparison of lower limb segments kinematics in a Taekwondo kick. An approach to the proximal to distal motion. *Journal of Human Kinetics*, 47(1), 41-49.
- Ferreir, M. A. R. & Brito, A. V. (2010). Electromechanical delay in ballistic movement of superior limb: comparison between karate athletes and nonathletes. *Perceptual and Motor Skills*, 111(3), 722-734.
- Fuchs, P. X., Lindinger, S. J. & Schwameder, H. (2018). Kinematic analysis of proximal-to-distal and simultaneous motion sequencing of straight punches. *Sports Biomechanics*, 17(4), 512-530.
- Han, K. H., Como, C., Kim, J., Hung, C. J., Hasan, M. & Kwon, Y. H. (2019). Effects of pelvis-shoulders torsional separation style on kinematic sequence in golf driving. *Sports Biomechanics*, 18(6), 663-685.
- Hölbling, D., Preuschl, E., Hassmann, M. & Baca, A. (2017). Kinematic analysis of the double side kick in pointfighting, kickboxing. *Journal of Sports Sciences*, 35(4), 317-324.
- Ibrahim, R., Faber, G. S., Kingma, I. & van Dieën, J. H. (2017). Kinematic analysis of the drag flick in field hockey. *Sports Biomechanics*, 16(1), 45-57.
- Kellis, E. & Katis, A. (2007). Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick. *Journal of Sports Science & Medicine*, 8(2), 154.
- Loturco, I., Artioli, G. G., Kopal, R., Gil, S. & Franchini, E. (2014). Predicting punching acceleration from selected strength and power variables in elite karate athletes: a multiple regression analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(7), 1826-1832.
- Martinez de Quel, O. & Bennett, S. J. (2014). Kinematics of self-initiated and reactive karate punches. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 85(1), 117-123.
- Newton, R. U., Murphy, A. J., Humphries, B. J., Wilson, G. J., Kraemer, W. J. & Häkkinen, K. (1997). Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 75(4), 333-342.
- Petri, K., Lichtenstein, M., Bandow, N., Campe, S., Wechselberger, M., Sprenger, D. ... & Witte, K. (2017). Analysis of anticipation by 3D motion capturing-a new method presented in karate kumite. *Journal of Sports Sciences*, 35(2), 130-135.
- Putnam, C. A. (1993). Sequential motions of body segments in striking and throwing skills: descriptions and explanations. *Journal of Biomechanics*, 26, 125-135.
- Quinzi, F., Sbriccoli, P., Alderson, J., Di Mario, A. & Camomilla, V. (2014). Intra-limb coordination in karate kicking: Effect of impacting or not impacting a target. *Human Movement Science*, 33, 108-119.
- Roschel, H., Batista, M., Monteiro, R., Bertuzzi, R. C., Barroso, R., Loturco, I. ... & Franchini, E. (2009). Association between neuromuscular tests and kumite performance on the Brazilian Karate National Team. *Journal of Sports Science & Medicine*, 8(CSSI3), 20.

- Ryu, S. H. (2015). *Classification of the hand techniques by angular momentum in the taekwondo poomsae*. Unpublished Doctoral dissertation. Graduate School of Korea National Sport University.
- Ryu, S. H. & Chin, S. T. (2018). Is Taekwondo Baro Jireugi Sequenced or Simultaneous?. *Taekwondo Journal of Kukkiwon*, 9(2), 221-236.
- Scarborough, D. M., Bassett, A. J., Mayer, L. W. & Berkson, E. M. (2018). Kinematic sequence patterns in the overhead baseball pitch. *Sports Biomechanics*, 1-18.
- Smith, M. S., Dyson, R. J., Hale, T. & Janaway, L. (2000). Development of a boxing dynamometer and its punch force discrimination efficacy. *Journal of Sports Sciences*, 18, 445-450.
- Turner, A., Baker, E. D. & Miller, S. (2011). Increasing the impact force of the rear hand punch. *Strength & Conditioning Journal*, 33(6), 2-9.
- Vences Brito, A. M., Ferreira, M. A. R., Cortes, N., Fernandes, O. & Pezarat-Correia, P. (2011). Kinematic and electromyographic analyses of a karate punch. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 21(6), 1023-1029.
- Vincent, H. K., Chen, C., Zdziarski, L. A., Montes, J. & Vincent, K. R. (2015). Shooting motion in high school, collegiate, and professional men's lacrosse players. *Sports Biomechanics*, 14(4), 448-458.
- Wagner, H., Pfusterschmied, J., Tilp, M., Landlinger, J., von Duvillard, S. P. & Müller, E. (2014). Upper-body kinematics in team-handball throw, tennis serve, and volleyball spike. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(2), 345-354.
- Wagner, H., Pfusterschmied, J., Von Duvillard, S. P. & Müller, E. (2011). Performance and kinematics of various throwing techniques in team-handball. *Journal of Sports Science & Medicine*, 10(1), 73.
- Wagner, H., Pfusterschmied, J., Von Duvillard, S. P. & Müller, E. (2012). Skill-dependent proximal-to-distal sequence in team-handball throwing. *Journal of Sports Sciences*, 30(1), 21-29.
- Walilko, T., Viano, D. C. & Bir, C. A. (2005). Biomechanics of the head for Olympic boxer punches to the face. *British Journal of Sports Medicine*, 39, 710-719.
- World Karate Federation. (2020). Karate competition rules. Retrieved from [https://www.wkf.net/pdf/WKF\\_Competition%20Rules\\_2020\\_EN.pdf](https://www.wkf.net/pdf/WKF_Competition%20Rules_2020_EN.pdf).
- Yoo, S. H., Jung, K. H. & Ryu, J. S. (2016). Suggestion of new terminology and classification of the hand techniques by angular momentum in the Taekwondo Poomsae. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 26(1), 51-69.