



품새선수와 비선수의 평원 앞차고 몸돌아 옆찬 후 손날 거들어 막기 운동역학적 비교

조소연¹ · 김영관^{2*}

1. 전남대학교, 석사 2. 전남대학교, 교수

요약

목적 품새선수와 비선수를 대상으로 평원 품새 ‘앞차고 몸돌아 옆찬 후 손날 거들어 막기’ 동작을 측정된 후 운동역학 변인을 비교하고, 상·하체 분절들의 협응으로 회전 균형을 만들어 내는 기전을 파악하고자 하였다.

방법 평원 품새를 무리없이 수행할 수 있는 품새선수 7명(연령: 19.9 ± 0.35 세, 신장: 174 ± 4.28 cm, 체중: 66.7 ± 4.03 kg, 경력: 12.7 ± 0.45 년)과 비선수 7명(연령: 17.7 ± 1.83 세, 신장: 171 ± 5.60 cm, 체중: 65.0 ± 11.9 kg, 경력: 9.57 ± 1.99 년)이 참여하고, 동작을 8회씩 반복 수행하였다. 동작 분석 카메라로 측정된 마커 자료를 이용하여 무게중심의 선운동학 변인과 신체 분절 각운동량을 계산하고, 독립 t-검정으로 두 집단의 평균 차이를 비교하였다.

결과 품새선수는 앞차기와 옆차기 전반의 동작 시간을 길게 가져갔다. 품새선수는 옆차기 전반에 비선수보다 전후축 상체 각운동량 늘리고, 수직축 하체 각운동량 줄이는 협응으로 옆차기 정점에서 수직축 전체 각운동량의 회전 균형을 효과적으로 만들었다.

결론 몸돌아 옆차기에서 수직축 하체 각운동량은 전후축 상체 각운동량과 연동이 되어 있어 수직축 전체 각운동량의 회전 균형을 만드는 전략으로 상·하체 협응이 중요하다.

주제어 평원 품새, 앞차고 몸돌아 옆차기, 각운동량, 상·하체 협응, 회전 균형

I. 서론

품새는 수련자가 공격과 방어의 기본 동작을 연결하여 스스로 기술 향상과 동작 응용 능력 배양을 목적으로 하는 태권도 기술체계이다(국기원, 2001; 이충훈, 2003). 제1회 태권도 한마당 대회(1992년)는 품새 경기화의 시발점이었고, 경기 규정이 제정되면서 경기 스포츠 종목으로서 기틀이 만들어졌다(윤수한, 김용은, 2020).

품새 경기의 경기력 점수는 정확도와 표현력 점수로 나뉜다(대한태권도협회, 2021). 정확도 점수는 기본 동작, 각 품새별 세부 동작, 균형 등 3가지 하위 항목으로 구성되며 그 가운데 균형 점수는 동작을 연결하면서 나타나는 중심

이동의 안정성으로 평가된다(대한태권도협회, 2021). 주관적으로 평가되는 동작의 안정성은 품새 과정에서 과도하게 흔들리는 무게중심이나 발차기 후의 불안정한 동작에 근거하여 채점된다. 안정감 있는 품새 자세란 동작을 하면서 균형을 확보하는 것인데 선수에게는 어려운 과제이다(류시현, 2012).

선수들이 가장 피하고 싶은 품새로 금강과 평원이 있다(노형준, 2016; 류시현, 류지선, 2012; 류지선, 류시현, 박상균, 윤석훈, 2012). 금강에서는 학다리 서기, 평원에서는 앞차고 몸돌아 옆차기가 어렵다고 한다(류시현, 류지선, 2012). 평원 품새가 역학적으로 어려운 이유 가운데 하나는 품새선이다. 품새선은 한 일(一)자로 형성되어 있어 선수는 직선으로만 전진하면서 모든 기술을 구사해야 한다. 전진할 때 발바닥 좌·우 폭이 발 앞뒤 길이보다 짧기 때문에

이 연구는 전남대학교 교내 연구비 지원사업으로 진행되었음.

* ykkim01@jnu.ac.kr

회방향으로는 기저면이 좁다. 특히 앞차기 후 180° 회전하면서 차는 옆차기에서 무게중심이 빈번히 흔들린다(노형준, 2016; 류시현, 류지선, 2012; 조용명, 류재균, 김영숙, 2015).

평원 품새 동작의 기술적인 어려움을 파악하고자 선행 연구들이 있어 왔다(노형준, 2016; 류시현, 류지선, 2012; 조용명 등, 2015). 무게중심 이동범위를 연구한 조용명 등(2015)은 좌·우측 무게 중심 이동범위가 작을수록 높은 점수가 나왔다고 하였다. 집단을 우수선수와 비우수선수로 나누어 지면반력 압력중심 범위, 유리토크 범위, 차기 높이와 속도, 보폭, 하체 근력 등 다양한 분석을 시도한 류시현, 류지선(2012)도 비우수선수는 압력중심 이동 범위가 크고, 좌·우 방향의 중심이동 속도가 우수선수에 비해 빨랐다고 하였다. 두 연구의 공통점은 무게중심 좌·우측 움직임 범위나 속도가 경기력과 관련이 있다는 것이다. 한편, 각운동학 변인을 분석한 노형준(2016)은 우수선수가 비우수선수보다 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절에서 굴곡·신전 각속도가 빨랐다는 것을 보여 주었다. 선운동역학의 지면반력 연구는 있어 왔지만(노형준, 2016; 류시현, 2012; 류시현, 류지선, 2012; 조용명 등, 2015), 각운동역학 관점에서 신체 분절들이 만들어내는 각운동량을 다룬 품새 연구는 없었다.

신체는 체간을 비롯하여 팔과 다리의 다분절(multi-segment)이 서로 연결된 구조이다(Karandikar & Vargas, 2011; Steindler, 1955). 팔·다리 끝단에 위치하는 손과 발의 움직임은 그 윗단의 근위 분절들에서 발생한 각운동량이 증폭되거나 상쇄된 결과이다. 이러한 다분절 협응으로 나타나는 현상을 키네마틱 체인 움직임이라고 한다(Begue, Peyrot, Lesport, Turpin, Watier, & Dalleau et al., 2021; Herr & Popovic, 2008; Martin, Kulpa, Delamarche, & Bideau, 2013; Naito, Fukui, & Maruyama, 2010). 운동역학 연구에서 축구 인스텝 킥(Naito et al., 2010), 테니스 스트로크(Martin et al., 2013), 보행(Begue et al., 2021; Herr & Popovic, 2008) 등 스포츠 동작의 경기력이나 인간 움직임의 수행력을 각운동량으로 분석하여 왔다. Begue 등(2021)은 장애물을 넘을 때 신체의 전체 각운동량을 영(zero)에 가깝게 만드는 능력이 노인에게 부족하다고 했다. 노인은 젊은이와 달리 몸통과 다리 각운동량이 크고, 분절 간 각운동량 상쇄를 잘 만들어 내지 못한다고 하였다. 신체의 전체 각운동량을 영(zero)에 가까운 균형된 자세는 신체 분절을 고정시켜서 만들 수도 있지만, 동적인 동작에서는

다양한 상·하체 분절 움직임을 활용하여 각운동량들이 효과적으로 상쇄될 때 만들어 진다(Begue et al., 2021).

평원 품새에서 앞차고 몸돌아 옆찬 후 손날 거들어 막기 동작이 어려운 또 다른 이유는 몸회전 때문이다(노형준, 2016; 류시현, 류지선, 2012; 조용명 등, 2015). 앞차기 동작은 시상면으로 하체를 들어 올리기 때문에 수직축 회전은 매우 적다. 하지만, 몸돌아 옆차기는 수직 각운동량을 생성해야 하고, 곧바로 옆차기 정점에서 수직 각운동량을 없애야 한다. 그렇지 못하면 착지하면서 뒷걸음질 치거나 착지 후 연속되는 손동작에서 무게중심이 흔들리게 된다. 지면반력과 상·하체 분절 협응에 의해 신체의 각운동량은 생성되고, 상·하체 분절들 사이에 보상 움직임으로 각운동량은 상쇄된다(Begue et al., 2021; Hamner & Delp, 2013; Martin et al., 2013). 지금까지 평원 품새 연구에서 시간에 따라 각운동량 변화를 연속적으로 살펴본 연구가 없고, 각운동량의 생성과 상쇄 과정에서 상·하체 분절들이 하는 역할을 밝힌 연구가 없었다.

본 연구는 품새 경기력 차이가 있는 품새선수와 비선수를 대상으로 앞차고 몸돌아 옆찬 후 손날 거들어 막기 동작을 수행함에 있어서 집단 간에 균형 능력 차이가 있을 것이라고 가정하고 귀무 가설을 설정하였다. 가설 검증을 위해 무게중심의 선운동학 변인과 신체 분절들의 각운동량을 비교 분석하고자 하였다. 또한, 전체, 상체, 하체 각운동량을 시계열에 따라 자세히 분석하여 몸돌아 옆차기의 회전 균형을 만들어내는 역학적인 전략도 파악하고자 하였다. 두 집단 간 유의미한 각운동량 결과를 찾는다면 품새 경기 지도 현장에서 유용하게 활용할 수 기초 자료를 얻을 수 있을 것이라는 기대 효과도 담았다.

Ⅱ. 연구방법

1. 연구대상

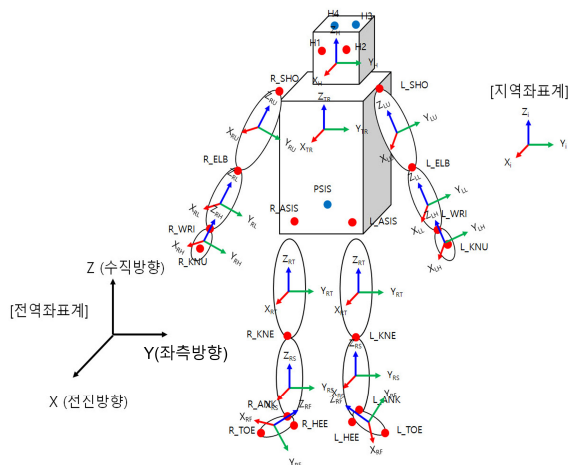
연구 대상자는 품새선수 7명과 비선수 7명이었다(Table 1). 품새선수는 대한태권도 협회에 선수로 등록된 4단 이상 유단자로 전국대회 메달(2021과 2022년) 수상자들이었다. 비선수는 동일한 수준의 유단자로 선수 등록하지 않고 수련 활동하는 태권도인이었다. 실험 전 대상자에게 연구 목적, 의미, 진행 절차를 충분히 설명하였으며, 자발적으로 참여 의사를 밝힌 자만을 실험에 참여시켰다.

Table 1. 연구 대상자 신체적 특징과 경력 [$M \pm SD$]

집단	연령(세)	신장(cm)	체중(kg중)	경력(년)
품새선수 (n=7)	19.9 ± 0.35	174 ± 4.28	66.7 ± 4.03	12.7 ± 0.45
비선수 (n=7)	17.7 ± 1.83	171 ± 5.60	65.0 ± 11.9	9.57 ± 1.99

2. 실험 장비 및 연구 절차

품새 동작을 정밀하게 측정하기 위해 적외선 고속카메라 (Osprey[®], Motion Analysis, Inc., Santa Rosa, CA, USA) 5대와 구동 소프트웨어 Cortex[®](ver. 5.3.1, Motion Analysis, Inc., Santa Rosa, CA, USA)를 사용하였다. 카메라의 영상 취득률은 240Hz로 하였다. 대상자는 상의를 탈의하고 하의로 밀착 타이즈를 착용했다. 연구자는 영상 촬영에 필요한 20mm 반사마커 23개를 대상자의 주요 관절점 위에 양면테이프(3M, St. Paul, MN, USA)로 고정하였다. 23개 마커의 위치는 머리 앞쪽 좌우(H1, H2), 뒤쪽 좌우(H3, H4), 양쪽의 견봉(R_SHO, L_SHO), 팔꿈치(R_ELB, L_ELB), 손목(R_WRI, L_WRI), 세 번째 손가락 중수지절골(R_KNU, L_KNU), 좌우 전상장골극(R_ASIS, L_ASIS), 중앙 후상장골극(PSIS), 양쪽의 무릎(R_KNE, L_KNE), 발목(R_ANK, L_ANK), 발뒷꿈치(R_HEE, L_HEE), 두 번째 발가락 중족지절골(R_TOE, L_TOE)이다(Figure 1)).

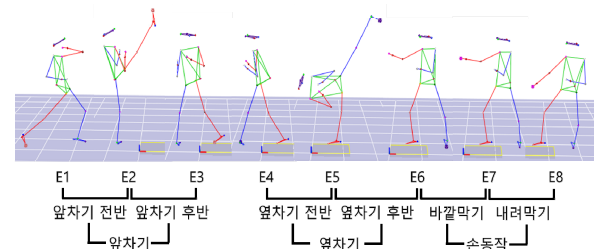

Figure 1. 23개 반사마커의 위치와 14개 분절의 지역좌표계 및 전역좌표계 정의

대상자의 준비 운동과 몸돌아 옆차기 동작 연습이 끝나면 진행자의 구령에 따라 대상자는 ‘앞차고 몸돌아 옆찬 후 손날 거들어 막기(바깥막기와 내려막기)’ 동작을 8회 반복 실시하였다. 앞차기는 오른발로 차고 몸돌아 옆차기는 왼

발로 차게 하였다. 매회 동작이 끝나면 15~20초 휴식을 부여하여 피로 효과가 발생하지 않도록 하였다.

3. 자료 분석과 통계

평원 품새 연속 동작을 8개 주요 시점(event, E)와 주요 구간으로 나누었다(Figure 2). E1 시점은 앞차기 발 이지, E2 시점은 앞차기 발끝 최정점, E3 시점은 앞차기 발 착지, E4 시점은 옆차기 발 이지, E5 시점은 옆차기 발끝 최정점, E6 시점은 옆차기 발 착지, E7 시점은 손날 거들어 바깥막기 완료, E8 시점은 손날 거들어 내려막기 완료 순간으로 각각 정의하였다. 각 시점 사이 시간을 구간으로 정의하였다. 크게는 앞차기(E1-E3), 옆차기(E4-E6), 손동작(E6-E8) 3개 구간이다. 각 구간에서 세부 구간을 2개로 나누어 앞차기 전반(E1-E2), 앞차기 후반(E2-E3), 옆차기 전반(E4-E5), 옆차기 후반(E5-E6), 바깥막기(E6-E7), 내려막기(E7-E8)로 설정하였다.


Figure 2. 앞차고 몸돌아 옆찬 후 손날 막기의 주요 시점과 세부 구간의 정의

저장된 동작 자료는 분석 프로그램인 Cortex[®](ver. 5.3.1, Motion Analysis, Inc, Santa Rosa, CA, USA)에서 사라진 마커를 복원하는 후처리 작업을 하였다. 이후 내려받은 자료는 상용수치해석 프로그램인 Matlab[®](ver. 2015b, MathWorks, Inc., Natick, MA, USA)에서 차단 주파수 8Hz (cutoff frequency)인 저역통과 디지털 필터(Butterworth fourth-order low-pass filter)로 노이즈를 제거하고, 분석에 필요한 운동역학 변인을 계산하였다. 변수 계산을 위해 14개 분절로 이루어진 링크 시스템 모델을 사용하였다(Figure 1)). 각 분절이 지닌 질량, 무게중심, 관성모멘트 값은 De Leva (1996)의 신체분절 모수치(body segment parameters)자료를 따랐다.

신체 전체의 무게중심(X_{CM} , Y_{CM} , Z_{CM})은 각 14개 분절 무게중심과 분절 질량 가중치 곱의 합을 전체 질량으로 나눈 값이다.

$$X_{CM} = \frac{\sum_{i=1}^{14} (x_i m_i)}{M}, Y_{CM} = \frac{\sum_{i=1}^{14} (y_i m_i)}{M},$$

$$Z_{CM} = \frac{\sum_{i=1}^{14} (z_i m_i)}{M} \quad (1)$$

여기서 x_i, y_i, z_i 는 각 분절의 무게중심이고, m_i 는 분절 질량, M 은 신체 체중에 해당하는 질량이다. 무게중심 선속도는 X축(전진 방향, $V_{X_{CM}}$), Y축(좌측 방향, $V_{Y_{CM}}$), Z축(수직 방향, $V_{Z_{CM}}$)의 선속도 성분의 합성 속도이다.

신체가 지닌 전체 각운동량(angular momentum, $\vec{H}$)은 각 분절 무게중심에서 정의되는 분절 각운동량($I_i \vec{\omega}_i$)과 신체 무게중심(CM) 위치로부터 떨어진 각 분절의 변위($\vec{r}_i - \vec{r}_{CM}$)와 각 분절의 상대 선속도($\vec{V}_i - \vec{V}_{CM}$)의 곱에 의해 형성되는 각운동량($(\vec{r}_i - \vec{r}_{CM}) \times m_i (\vec{V}_i - \vec{V}_{CM})$)의 합이다.

$$\vec{H} = \sum_{i=1}^{14} [(\vec{r}_i - \vec{r}_{CM}) \times m_i (\vec{V}_i - \vec{V}_{CM}) + I_i \vec{\omega}_i] \quad (2)$$

상체 각운동량($\vec{H}_{UB}$, upper body)은

$$\vec{H}_{UB} = \vec{H}_H + \vec{H}_{TR} + \vec{H}_{RU} + \vec{H}_{RL} + \vec{H}_{RH} + \vec{H}_{LU} + \vec{H}_{LL} + \vec{H}_{LH} \quad (3)$$

으로 머리($\vec{H}_H$, head), 몸통($\vec{H}_{TR}$, trunk), 오른윗팔($\vec{H}_{RU}$, right upper arm), 오른아래팔($\vec{H}_{RL}$, right lower arm), 오른손($\vec{H}_{RH}$, right hand), 왼윗팔($\vec{H}_{LU}$, left upper arm), 왼아래팔($\vec{H}_{LL}$, left lower arm), 왼손($\vec{H}_{LH}$, left hand) 분절 각운동량들의 총합이다.

하체의 각운동량($\vec{H}_{LB}$, lower body)은

$$\vec{H}_{LB} = \vec{H}_{RT} + \vec{H}_{RS} + \vec{H}_{RF} + \vec{H}_{LT} + \vec{H}_{LS} + \vec{H}_{LF} \quad (4)$$

으로 오른허벅지($\vec{H}_{RT}$, right thigh), 오른종아리($\vec{H}_{RS}$, right shank), 오른발($\vec{H}_{RF}$, right foot), 왼허벅지($\vec{H}_{LT}$, left thigh), 왼종아리($\vec{H}_{LS}$, left shank), 왼발($\vec{H}_{LF}$, left foot) 분절 각운동량들의 총합이다.

모든 통계처리는 SPSS®(ver. 23, IBM, Inc., Armonk, NY, USA) 프로그램에서 실시하였다. 집단의 평균과 표준편차를 구하는 기술통계를 먼저 하였다. 집단 간 평균은 독립 t -검정으로 차이를 살펴 보았다. 통계에 사용된 선운동학 변인들은 무게중심 변위, 선속도, 동작시간이고, 각운동학 변인은 각운동량(전체, 상체, 하체)이었다. 시계열 각운동량 분석에 대해서는 100%로 표준화된 몸돌려 옆차기 구간에서 매 1%마다 SPM(statistical parametric mapping) 기법 안에서 독립 t -검증을 실시하여 시간 단위별 평균 차이를 살펴보았다(Pataky, 2012). 모든 검정은 유의 수준 .05 미만의 양측 검정이었다.

Ⅲ. 연구결과

1. 품새선수와 비선수의 선운동학 변인

1) 주요 구간에서 동작 시간 비교

두 집단의 동작 시간을 비교한 결과 발차기 일부와 손동작 구간에서 동작 시간 차이가 통계적으로 나타났다($p < .05$, <Table 2>). 세부적으로 살펴보면 앞차기, 앞차기 전반과 옆차기 전반 구간에서 품새선수의 동작 시간이 비선수보다 길었다($p < .05$). 한편, 손동작, 바깥막기 구간에서는 품새선수가 비선수보다 짧은 동작시간을 가져갔다($p < .05$).

앞차기 발끝 최정점(E2)은 앞차기 구간 시간의 45.1%(품새선수)와 43.2%(비선수)에서 발생했다. 옆차기 발끝 최정점(E5)은 몸돌아 옆차기 구간 시간의 43.3%(품새선수)와 37.4%(비선수)에서 발생했다.

Table 2. 주요 구간의 동작 시간 비교 [단위: 초, $M \pm SD$]

구간	품새선수	비선수	p	ES
전체 동작	3.68±0.16	3.84±0.22	.14	.84
앞차기	1.16±0.07	1.09±0.06	.046*	1.19
앞차기 전반	0.52±0.04	0.47±0.03	.02*	1.38
앞차기 후반	0.64±0.05	0.62±0.05	.48	.39
옆차기	1.59±0.12	1.54±0.13	.49	.38
옆차기 전반	0.69±0.07	0.58±0.07	.01*	1.65
옆차기 후반	0.91±0.08	0.97±0.08	.19	.75
손동작	0.88±0.09	1.12±0.13	.001*	2.10
바깥막기	0.11±0.04	0.29±0.12	.001*	2.09
내려막기	0.77±0.05	0.83±0.07	.09	0.97

ES: 효과 크기, * $p < .05$

2) 주요 구간에서 무게중심 변위 비교

주요 동작 구간에서 발생하는 3축 방향(전후축, 좌우축, 수직축 방향) 무게중심 변위(나중 위치와 처음 위치의 차이)는 <Table 3>과 같았다. 모든 축과 구간에서 두 집단간 유의한 차이가 없었다.

Table 3. 구간 별 무게중심 변위 비교 [단위: m, $M \pm SD$]

축	구간	폼새선수	비선수	p	ES
전후 (+, 전 , 후)	앞차기	0.46±0.05	0.53±0.07	.08	1.19
	옆차기	0.54±0.10	0.59±0.09	.42	.48
	손동작	0.16±0.04	0.19±0.05	.18	.84
좌우 (+, 좌 , 우)	앞차기	0.06±0.04	0.04±0.06	.49	.40
	옆차기	-0.14±0.03	-0.11±0.06	.33	.63
	손동작	-0.06±0.02	-0.04±0.04	.30	.69
수직 (+, 위 , 아래)	앞차기	0.08±0.01	0.07±0.02	.75	.20
	옆차기	0.03±0.03	0.04±0.02	.44	.45
	손동작	-0.11±0.03	-0.08±0.02	.11	.95

ES: 효과 크기

Table 4. 주요 시점에서 전체 각운동량 비교 [단위: $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$, $M \pm SD$]

축	시점	폼새선수	비선수	p	ES
전후 (+, 전; , 후)	E1	-0.11±0.67	-1.51±1.05	.03*	1.60
	E2	-0.67±0.40	-0.60±1.48	.92	.07
	E3	-3.74±1.43	-3.74±2.15	1.00	.00
	E4	-4.36±0.93	-6.00±2.07	.13	1.02
	E5	-1.97±0.85	-0.15±0.61	.001*	2.46
	E6	4.15±2.580	2.97±1.90	.38	.52
	E7	-0.35±0.44	-0.85±0.67	.17	.89
	E8	0.28±0.25	0.34±0.22	.66	.26
좌우 (+, 좌; , 우)	E1	-6.31±2.48	-4.29±1.79	.13	.93
	E2	-1.41±1.25	-1.14±1.23	.72	.21
	E3	4.91±0.60	4.88±2.86	.98	.01
	E4	-0.80±2.76	-2.05±3.57	.53	.39
	E5	-4.46±2.60	-5.64±3.72	.56	.37
	E6	10.2±2.07	11.3±4.50	.63	.31
	E7	4.7±0.93	3.88±1.79	.37	.58
	E8	0.06±0.40	0.21±0.53	.60	.32
수직 (+, 위; , 아래)	E1	2.67±1.08	3.24±0.69	.29	.29
	E2	0.27±0.45	0.73±0.98	.36	.36
	E3	6.84±1.43	6.29±2.31	.65	.65
	E4	7.80±1.86	8.50±2.77	.63	.63
	E5	1.29±1.43	2.62±1.42	.14	.14
	E6	-2.71±0.76	-2.62±1.13	.88	.88
	E7	-1.91±0.75	-1.34±0.78	.23	.23
	E8	-1.05±0.53	-1.05±0.61	.99	.99

* $p < .05$, ES: 효과 크기, E1: 앞차기 이지, E2: 앞차기 최정점, E3: 앞차기 착지, E4: 옆차기 이지, E5: 옆차기 최정점, E6: 옆차기 착지, E7: 손동작 바깥막기, E8: 손동작 내려막기

3) 주요 시점에서 무게중심 속도 비교

<Table 4>는 주요 시점에서 발생한 무게중심 속도를 나타낸 것이다. 통계분석 결과 전후축의 E2, E3 시점에서 비선수가 폼새선수보다 전진 방향으로 빨랐다($p < .05$). 좌우축에서 폼새선수가 비선수보다 E7 시점에서 우측으로 빨랐고($p < .05$), E8 시점에서는 비선수가 우측으로 빨랐다($p < .05$). 수직축의 E4, E7 시점에서 폼새선수가 비선수보다 아래쪽으로 선속도가 빨랐다($p < .05$).

2. 폼새선수와 비선수의 각운동역학 변인

1) 주요 시점에서 각운동량 비교

주요 시점에서 전체 각운동량($\vec{H}$) 평균 차이를 두 집단 간에 비교한 결과 <Table 5>와 같았다. 각운동량은 공간 상 3개 축을 중심으로 분절이 반시계방향으로 회전하면 양

Table 5. 주요 시점에서 무게중심 속도 비교 [단위: m/s, $M \pm SD$]

축	시점	폼새선수	비선수	p	ES
전후 (+, 전; , 후)	E1	0.76±0.05	0.80±0.08	.39	.55
	E2	0.30±0.06	0.38±0.05	.03*	1.43
	E3	0.54±0.07	0.71±0.10	.01*	1.94
	E4	0.71±0.12	0.85±0.12	.07	1.20
	E5	0.20±0.08	0.25±0.07	.27	.67
	E6	0.65±0.06	0.69±0.09	.39	.55
	E7	0.44±0.09	0.36±0.09	.17	.87
	E8	0.01±0.03	0.02±0.04	.87	.10
좌우 (+, 좌; , 우)	E1	0.17±0.04	0.17±0.02	.86	.10
	E2	0.00±0.03	0.02±0.04	.24	.74
	E3	0.04±0.18	0.00±0.12	.68	.24
	E4	-0.02±0.15	-0.13±0.12	.21	.77
	E5	-0.05±0.03	-0.03±0.07	.50	.44
	E6	-0.24±0.08	-0.17±0.09	.21	.79
	E7	-0.17±0.06	-0.06±0.06	.01*	1.84
	E8	0.01±0.03	-0.02±0.01	.03*	1.42
수직 (+, 위; , 아래)	E1	0.24±0.07	0.21±0.09	.66	.27
	E2	-0.06±0.10	-0.01±0.05	.25	.67
	E3	-0.37±0.06	-0.41±0.07	.36	.57
	E4	-0.17±0.10	-0.01±0.13	.047*	1.34
	E5	-0.39±0.25	-0.37±0.16	.87	.10
	E6	-0.83±0.27	-0.57±0.21	.08	1.11
	E7	-0.27±0.16	-0.05±0.06	.01*	1.76
	E8	-0.02±0.02	-0.05±0.05	.19	.88

* $p < .05$, ES: 효과 크기, E1: 앞차기 이지, E2: 앞차기 최정점, E3: 앞차기 착지, E4: 옆차기 이지, E5: 옆차기 최정점, E6: 옆차기 착지, E7: 손동작 바깥막기, E8: 손동작 내려막기

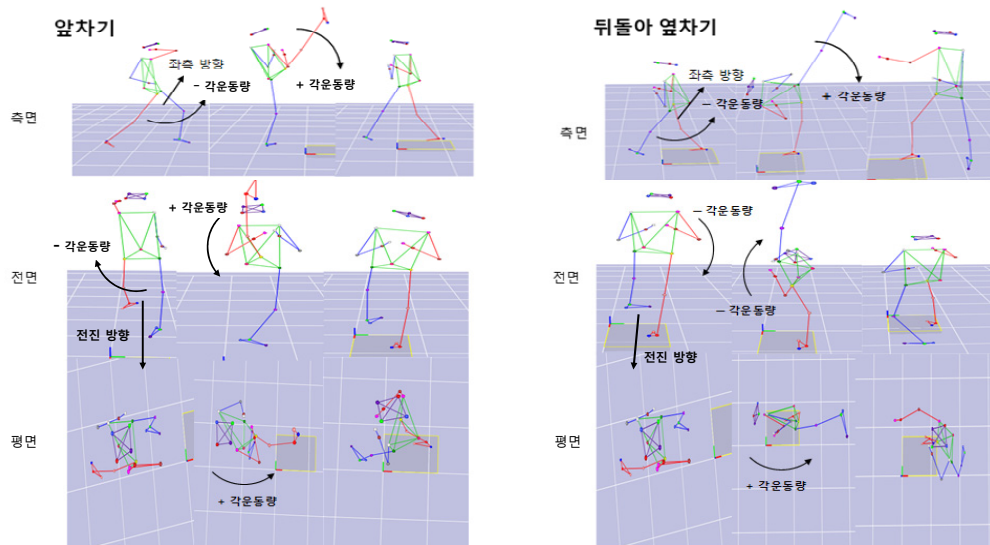


Figure 3. 앞차기와 몸돌아 옆차기의 구분 동작 모습과 각운동량 방향 정의

(+)의 값, 시계방향으로 회전하면 음(-)의 값으로 나타낸다 (〈Figure 3〉). 시상면(좌우축)을 보면 오른발 앞차기나 왼발 옆차기를 칠 때 분절들이 앞쪽 위로 올라가면 좌우축 음(-) 각운동량, 분절들이 앞쪽 아래로 내려오면 좌우축 양(+) 각운동량을 나타낸다. 관상면(전후축)을 보았을 때 오른발 앞차기나 몸돌아 왼발 옆차기 시 분절들이 위로 올라가면 전후축 음(-) 각운동량, 내려오면 전후축 양(+) 각운동량을 나타낸다. 수평면(수직축)을 보면 오른 앞차고 몸돌아 왼발 옆차기는 동작들이 모두 양(+) 각운동량(반시계방향)을 나타낸다.

통계분석 결과 전후축 E1 시점(앞차기 이지)에서 비선수들은 시계방향(- 값) 각운동량이 품새선수보다 컸다($p < .05$). 그러나, E5 시점(옆차기 최정점)에서는 품새선수가 비선수보다 시계방향(- 값) 각운동량이 컸다($p < .05$). 좌우축과 수직축에서는 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

2) 시계열에 따른 몸돌아 옆차기 구간의 전체, 상체, 하체 각운동량 비교

〈Figure 4〉는 평원 품새에서 실수가 가장 많이 발생하는 몸돌아 옆차기 구간을 집중적으로 분석하였다. 옆차는 발 이지 시점(E4)을 0%, 옆차기 최고점 시점(E4)를 40%, 옆차기 찬 후 착지 시점(E6)을 100%로 구간 시간을 표준화하였다. 실험 결과 품새선수는 옆차기(E5)를 43.3% 시점, 비선수는 37.4% 시점에서 발생시켰지만, 그래프 상에서 두 집단을 동일하게 비교하기 위해 옆차기 시점(E5)을 40%로 임의로 설정하고 옆차기 전반(0~40%)와 옆차기 후반(40~100%)으로 시간을 나누었다. 그래프에서 검정색 실선은 품

새선수, 붉은색 점선은 비선수 집단의 평균값이다. 그래프는 전체 각운동량(top 그림 3개), 상체 각운동량(middle 그림 3개), 하체 각운동량(bottom 그림 3개)으로 나누었고, 전후축, 좌우축, 수직축의 3개 축으로 구분해서 매 1% 시간 단위마다 연속적인 값으로 표시하였다. 집단 평균값은 개별 피험자들이 8회 반복한 평균값을 피험자 대푯값으로 한 후 각 집단(7명)의 양상블 평균값으로 만들어 진 것이다.

분석 결과 전후축에서는 전체 각운동량은 38~41%(E5 근처), 상체 각운동량은 31~32%와 75~80% 구간 시간에서 집단 간 차이가 있었다($p < .05$). 옆차기 전반의 대부분과 옆차기 시점에서는 품새선수가 음(-) 각운동량이 비선수보다 더 컸다.

수직축에서는 11~24%에서 집단 간 하체 각운동량의 차이를 보였다($p < .05$). 비선수가 품새선수보다 더 큰 양(+)의 각운동량을 나타냈다. 좌우축에서는 두 집단 간 유의한 차이가 없었다.

IV. 논 의

태권도 품새가 경기화 되면서 선수들의 경쟁은 더 치열해졌다. 경기에서 고득점을 얻으려면 화려하고 높게 발차기를 하면서도 무게중심이 흔들리지 말아야 한다. 본 연구는 태권도 선수들이 가장 기피하는 평원 품새의 앞차고 몸돌아 옆찬 후 손날 거들어 막기 동작을 연구 주제로 삼았다. 수준 차이가 있는 두 집단, 즉 현재 대학 태권도 품새선수로 등록되어 전국대회 입상 경력이 있는 품새선수와 비

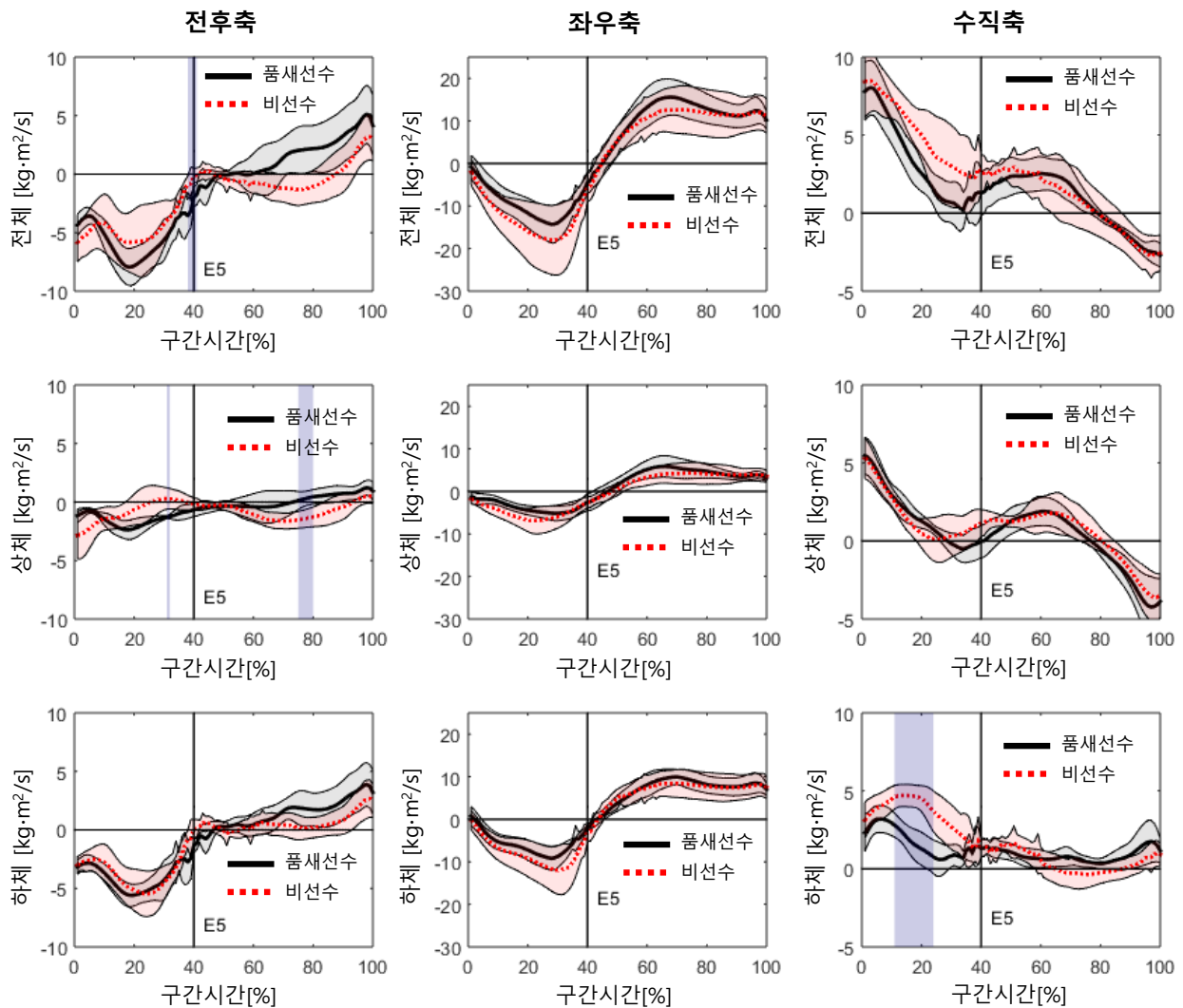


Figure 4. 몸돌아 옆차기 구간에서 전후축, 좌우축, 수직축에 따른 전체 각운동량과 상체 및 하체 각운동량의 변화

슷한 연령대 유단자로 평원 품새를 무리 없이 할 수 있는 비선수 집단을 대상으로 했다. 먼저 선운동학 관점에서 두 집단의 균형 능력을 분석하였고, 선행 연구에서 다루지 않았던 각운동량 변인을 함께 분석하여 몸돌아 옆차기 구간에 회전 균형을 확보할 수 있는 방안을 찾고자 하였다.

1. 선운동학 변인과 균형 능력

품새선수와 비선수는 동작을 수행하는 가운데 일부 선운동학 변인에서만 통계적 차이를 나타냈다. 균형 능력과 관련이 있는 무게 중심의 좌우 변위를 포함한 전반적인 변위 값에서는 두 집단 간 통계적인 차이가 없었다. 이는 선행 연구와는 달리 비선수 집단의 균형 능력도 품새선수 못지 않은 수준을 나타낸 것으로 해석된다(노형준, 2016; 류시현, 2012; 류시현, 류지선, 2012; 조용명 등, 2015).

동작 시간 일부에서는 집단 간 차이가 있었다. 전체 동작 시간은 차이가 없었지만, 품새선수가 앞차기, 앞차기 전반, 옆차기 전반 구간에서 비선수보다 길게 동작 시간을 가져 갔다(Table 2). 한편, 앞차기 최정점(E2)에 도달하는 상대적 시간은 45.1%(품새선수)와 43.2%(비선수)로 두 집단이 비슷했다. 옆차기의 경우는 달랐다. 옆차기 최정점(E5)에 도달하는 상대시간은 품새선수(43.3%)가 비선수(37.4%)보다 길었다. 이렇게 임팩트 이전에 시간을 길게 가져가는 이유는 균형과 관련된 품새선수 발차기 스타일로 해석되었다. 품새 경기에서 고득점을 얻으려면 발차기 동작을 높게 차야 하고, 최정점에서 잠시 멈춰야 심판에게 안정적인 자세로 차고 있다는 인상을 줄 수 있다. 품새선수는 앞차기 전반과 옆차기 전반에서 모두 발이 지면에서 이륙한 후 무릎과 엉덩 관절을 많이 굴곡 시켜 발이 무게중심 가까이 오도록 유지하는 자세를 갖추려고 했다. 분절을 무게중

심으로 모으면 관성모멘트 값이 작아져 회전저항이 줄어들 수 있지만, 발을 뺏기 전에 분절을 모으면서 정적 균형을 확보한다면, 발차기 이전과 이후를 구분하여 절도 있는 동작을 만들어 낼 수 있다. 이는 자세가 안정되어 서두르지 않고 침착하게 하고 있다는 인상을 심사위원들에게 보여 주려는 품새선수들의 스타일일 수 있다.

옆차기 착지 후에 발생한 손동작, 특히 바깥막기 동작 완료까지 비선수수가 품새선수보다 긴 동작 시간을 나타냈다(〈Table 2〉). 비선수들이 옆차기를 찬 후 이어지는 동작을 빠르게 가져가지 못한 것이 일부는 무게중심의 속도에서 기인한 부족한 안정감으로 해석된다. 옆차기를 위해 몸을 돌리는 과정은 수직축의 시계방향 움직임이다. 이에 따라 진행 방향의 좌측으로 무게중심 선속도가 발생하기 쉽다. 품새선수와 비선수 모두 E4, E5, E6에서 우측 평균 선속도를 나타내어 몸이 돌아가는 관성(좌측)과 반대로 안정성을 취하려는 노력을 한 것을 볼 수 있었다. 그러나, 바깥막기 종료 순간(E7) 품새선수는 우측 선속도가 비선수보다 크게 나와 비선수보다 우측으로 견고하게 무게중심을 가져갔다는 것을 보여주었다. 또한, E7 시점의 수직 선속도도 비선수보다 더 빠르게 아래로 값을 나타내어 강하게 지면을 눌렀다는 것을 추론할 수 있다. 이러한 선속도의 근거들은 손동작(연속되는 바깥막기와 내려막기)에서 품새선수들이 비선수보다 안정적으로 짧은 시간에 동작을 하고 있다는 것으로 생각된다.

2. 각운동량 결과와 상·하체 협응

본 연구는 선행연구에서 살펴보지 않았던 각운동량 변인을 계산하고 분석했다. 앞차기 이후 몸돌아 옆차기 하는 과정에서 수직축으로 반시계방향 각운동량(+값)이 발생해야 회전이 일어난다. 하지만, 수직축 각운동량이 계속 유지되면 무게중심은 멈추지 못하고 진행방향 좌측으로 이동되기 쉬워 안정적인 옆차기를 만들 수 없다. 즉, 옆차기 최정점 순간(E5) 영(zero)에 가깝게 수직축 각운동량이 억제되어야 회전 균형이 만들어지고, 옆차기를 안정감 있는 찰 수 있다. 본 연구는 전후축, 좌우축, 수직축에서 발생하는 전체 각운동량과 전체 각운동량을 만들어 내는데 기여하는 상체와 하체 각운동량을 각각 분석하여 평원 품새에서 가장 실수가 많이 나오는 동작(몸돌아 옆차기)의 메커니즘을 찾고자 하였다.

주요 시점의 값만 분석한 〈Table 5〉는 연구의 한계점을

보였다. 즉, 통계적으로 전후축 전체 각운동량 일부 시점(E1과 E5)에서만 집단 간 차이가 있었다($p < .05$). 회전 균형의 관심이 집중되는 수직축 각운동량에서는 주요 시점에서 유의한 차이가 나타나지 않았다. 그러나, 몸돌아 옆차기 구간을 매 1% 단위로 시계열 값을 살펴보면 통계처리를 한 결과 구별되는 상·하체 분절 움직임 특징을 파악할 수 있었다(〈Figure 4〉).

옆차기 최정점(E5)에서 수직축 전체 각운동량은 영(zero)에 가까운 값이 되어야 회전 균형이 좋다고 볼 수 있다. 〈Table 5〉에 나타난 결과를 보면 E5(40% 시간)에서 집단 간 유의한 차이는 없었고, 비선수($2.62 \pm 1.42 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$)가 품새선수($1.29 \pm 1.43 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$)보다 반시계방향(몸이 돌아가는 방향)으로 더 평균값이 더 컸다. 〈Figure 4〉를 통해서 그 이유를 살펴보니 옆차기 전반 수직축 하체 각운동량에서 두 집단 간 차이를 볼 수 있었다. 11~24% 구간에서 품새선수의 하체 각운동량 값이 비선수에 비해서 유의하게 작게 나타났다. 이 영향으로 옆차기 최정점(E5)일 때 품새선수의 수직축에서 전체 각운동량이 비선수보다 낮은 이유를 알 수 있었다. 하체 각운동량에서 유의한 차이가 나는 시간 영역에 해당하는 전후축의 상체 각운동량을 살펴보면 동일한 시간 영역에서 통계적으로 차이는 없었으나 평균적으로 품새선수의 상체 각운동량이 시계방향으로 큰 값을 나타낼 수 있었다. 이것은 31~32% 시간에서 통계적으로 유의한 차이로 나타나게 되었다. 또한, 이 영향으로 옆차기 최정점(E5)(40% 시간) 전후축에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 품새선수($-1.97 \pm 0.85 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$)는 비선수($-0.15 \pm 0.61 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$)보다 유의하게 시계방향 각운동량이 컸다. 이것은 상·하체 회전축을 분리하여 공중에서 신체의 방향을 바꾸는 역학적 원리와 비슷하다고 볼 수 있다(박성순, 2010; 주명덕, 이기청, 2001).

각운동량이 보존되는 공중에서 초기 각운동량이 없으면 강체는 회전을 할 수 없다. 그 이유는 공중에서 상체와 하체가 동일한 축 위에 있으면 작용과 반작용 및 각운동량 보존 법칙 원리에 따라 자세의 방향을 바꿀 수 없기 때문이다. 그러나 상·하체를 접으면 고양이나 체조 및 다이빙 선수들이 공중에서 방향을 회전하는 것처럼 다른 방향의 각운동량에 영향을 주거나 받지 않으면서 원하는 동작을 만들어 낼 수 있다(박성순, 2010; 주명덕, 이기청, 2001). 같은 직선 위에 있던 상체축과 하체축이 접히면(축이 서로 분리되면) 한 축(상체축)의 회전은 다른 축(하체축)의 회전(반작용) 만들어 내지 못 한다. 그 이유는 두 축이 90도 가까스로

꺾이면 한 축의 회전(상체축)에 대해 다른 축(하체축)의 위치는 회전하는 것을 방해하는 큰 관성모멘트로 작용하기 때문이다. 본 실험의 몸돌아 옆차는 과정은 지지발이 지면에 접촉하고 있어 각운동량 보존 상황은 아니다. 하지만, 같은 운동역학적 원리(신체 축 변화를 통한 각운동량 전이 현상)가 작용한다(Dapena, 1978; Frohlich, 1979). 품새선수는 몸돌아 수직축으로 회전하는 과정에서 수직축과 90도를 이루는 전후축으로 상체 분절의 빠른 각운동량을 만들어냈다. 이것은 수직축 하체 각운동량 입장에서는 극복해야 할 관성모멘트가 된다. 따라서, 수직축 하체 각운동량은 급격하게 줄어들게 되고, 수직축 전체 각운동량의 감소를 가져와서 옆차기 발끝 최정점(E5) 순간 비선수보다 회전 균형을 수월하게 만들게 되었다. 이는 품새 지도에 있어서 매우 유용한 피드백이 될 수 있다. 몸돌아 옆차기에서 수직축 회전을 멈추지 못하는 선수에게는 상체축을 전후축에 가깝게 유지하면서 전후축 시계방향 회전(수평축에 가깝게 상체를 뒤로 누힌 상태에서 오른쪽 어깨 하강과 왼쪽 어깨 상승)을 빠르게 만들 수 있도록 지도해야 한다.

옆차기 후반인 75~80% 시간에 집단 간 차이가 발생한 전후축 상체 각운동량은 안정적인 착지로 가는 협응 전략의 차이로 해석되었다. 품새선수의 전후축 상체 각운동량은 영(zero)에 가까웠으나 비선수는 시계방향 상체 각운동량을 보였다(Table 4) middle 좌측). 이것은 상체가 발 착지 직전에 회전 균형에 가깝게 유지 된 것이고 이어지는 손날 바깥막기와 내려막기에서 상체가 흔들리지 않고 손동작을 빠르게 가져갈 수 있는 원인을 제공한 것으로 해석되었다.

본 연구는 몇가지 제한점이 있다. 연구 대상자들이 각 집단에서 7명씩이어서 통계력의 한계점이 있었다. 대상자들의 확대를 통해 통계적인 유의성을 더 확보하고 일반화 될 수 있는 방향의 후속 연구가 필요하다. 또한, 상체와 하체 각운동량만 기술하여 몸돌려 동작에서 구체적인 개개 분절들이 각운동량 생성에 도움되었는지 방해되었는지 알 수 없었다. 세부 분절 수준의 각운동량 제어 및 협응을 밝히는 후속 연구가 필요하다.

V. 결론 및 제언

본 연구는 태권도 평원 품새 가운데 실수와 감점이 가장 많이 발생하는 ‘앞차고 몸돌아 옆차기 후 양손날 거들어 막기 동작’을 주제로 삼았다. 품새선수와 비선수 동작의 선운

동학 및 각운동역학 변인을 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 무게중심 변위에서는 집단 간 차이가 없었다. 단, 품새선수는 앞차기와 옆차기 전반 동작 시간을 길게 가져갔고, 동작을 보여주었고, 비선수는 손동작 구간에서 무게중심 속도가 품새선수에 비해 안정적이지 못해 긴 동작 시간을 가져갔다.

둘째, 품새선수는 옆차기 전반 시계방향으로 전후축 상체 각운동량을 키우고, 반시계방향으로 수직축 하체 각운동량을 줄이는 상·하체 협응으로 옆차기 최정점(E5)에서 회전 균형을 효과적으로 만들었다.

결론적으로 평원 품새 앞차고 몸돌아 옆찬 후 손날 거들어 막기 동작을 안정적으로 하려면 몸돌면서 생성된 수직축 각운동량이 옆차기 최정점에서 영(zero)에 가깝게 없어져야 한다. 이것은 상체와 하체 분절의 효과적인 회전축 분리와 협응을 이용하는 각운동량 축방향 전이 전략에 따른다. 선수나 지도자는 옆차기 전반에 몸을 돌리면서 전후축 상체 각운동량이 효과적으로 만들어 지도록 연습과 지도가 있어야 할 것이다.

References

- 국기원(2001). **태권도 교본**. 오성출판사.
- 노형준(2016). **태권도 품새 선수의 경기력에 영향을 미치는 균형성 비교**. 미간행 박사학위논문, 우석대학교 대학원.
- 대한태권도협회(2021). **태권도 품새 경기규칙**.
- 류시현(2012). **태권도 앞차고 몸돌아 옆차기의 균형성**. 미간행 석사학위논문, 한국체육대학교 대학원.
- 류시현, 류지선(2012). 태권도 품새 우수, 비 우수선수 간 앞차고 몸돌아 옆차기의 성·패에 따른 균형성 비교. **한국운동역학회지**, 22(3), 285-293.
- 류지선, 류시현, 박상균, 윤석훈(2012). 태권도 품새 우수 · 비 우수선수 간 학다리서기의 균형성 비교. **한국운동역학회지**, 22(1), 55-63.
- 박성순 등(2010). **운동역학**. 대경북스.
- 윤수한, 김용은(2020). 올림픽 정식종목 채택을 위한 품새 경기의 방향 탐색. **국기원 태권도연구**, 11(1), 167-189.
- 이충훈(2003). **태권도 수련의 이론과 실천**. 상아기획.
- 주명덕, 이기청(2001). **운동역학**. 대한미디어.
- 조용명, 류재균, 김영숙(2015). 정확성 평가결과에 따른 태권도 평원 품새 동작의 운동학적 분석. **한국운동역학회지**, 25(4), 431-440.
- Begue, J., Peyrot, N., Lesport, A., Turpin, N., Watier, B., Dalleau, G., & Caderby, T. (2021). Segmental contribution to whole-body angular momentum during stepping in

- healthy young and old adults, *Scientific Reports*, 11, Article number: 19969.
- Dapena, J. (1978). A method to determine the angular momentum of a human body about three orthogonal axes passing through its center of gravity. *Journal of Biomechanics*, 11, 251-256.
- De Leva, P. (1996). Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*, 29, 1223-1230.
- Frohlich, C. (1979). Do springboard divers violate angular momentum conservation? *American Journal of Physics*, 47, 583-592.
- Hamner, S. R., & Delp, S. L. (2013). Muscle contributions to fore-aft and vertical body mass center accelerations over a range of running speeds. *Journal of Biomechanics*, 46, 780-787.
- Herr, H., & Popovic, M. (2008). Angular momentum in human walking, *Journal of Experimental Biology*, 211, 467-481.
- Karandikar, N., & Vargas, O. (2011). Kinetic Chains: A Review of the Concept and Its Clinical Applications, *Physical Medicine and Rehabilitation*, 3, 739-745.
- Martin, C., Kulpa, R. Delamarche, P., & Bideau, B (2013). Professional tennis players' serve: correlation between segmental angular momentums and ball velocity, *Sports Biomechanics*, 12, 2-14.
- Naito, K., Fukui, Y., & Maruyama, T. (2010). Multijoint kinetic chain analysis of knee extension during the soccer instep kick, *Human Movement Science*, 29, 259-276.
- Pataky, T. C. (2012). One-dimensional statistical parametric mapping in Python, *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 15, 295-301.
- Steindler A. (1955). *Kinesiology of the human body under normal and pathological conditions*. Blackwell Scientific Publication.

Biomechanical comparisons of Pyeongwon Apchago-Duichan hu-Yang sonnal Makki between Poomsae athletes and non-athletes

Cho, So-Yeon¹ · Kim, Young-Kwan^{2*}

1, Chonnam National University, M.S. 2, Chonnam National University, Professor

Abstract

Purpose The purpose of this study was to investigate the biomechanical differences between Poomsae athletes and non-athletes in performing 'Pyeongwon Apchago-Duichan hu-Yang sonnal Makki' in order to find the mechanism of the rotational balance.

Method Seven Poomsae athletes(PA) and seven non-athletes(NA) participated in the experiments. They performed the task repeatedly eight times. High speed camera were used to capture the motions. Linear kinematics with respect to center of mass (CM) and angular momentum were calculated. Student t-test were used to find mean differences between two groups.

Results As for linear kinematics, PA showed longer movement times in early phases of Apchagi and Yeopchagi. PA revealed greater antero-posterior upper body angular momentum with smaller vertical lower body angular momentum in order to keep the vertical rotational balance at the moment of Duidolah Yeopchagi.

Conclusion Duidolah Yeopchagi is highly associated with the coordination between upper body rotation and lower body vertical rotations. It is important to utilize well this mechanism in an attempt to keep vertical rotational balance in Pyeongwon Poomsae.

Keywords Pyeongwon Poomsae, angular momentum, upper and lower limbs coordination, rotational balance.

논문투고일: 2023.11.01.
논문심사일: 2023.11.16.
심사완료일: 2023.12.19.
논문발간일: 2023.12.30.