



Original Article

Effects of Resistance Height and Intensity on Coordination Patterns During Morote-Seoi-Nage in Judo Athletes

Tae-Whan Kim¹ and Moon-seok Kwon^{2*}

¹Department of Sports Science, Korea Institute of Sport Science

²Sports Convergence Institute, Konkuk University

Article Info

Received 2026. 02. 09.

Revised 2026. 05. 19.

Accepted 2026. 06. 16.

Correspondence*

Moon-seok Kwon

rnjsanstjr@kku.ac.kr

Key Words

Morote-seoi-nage,
Coordination patterns,
Continuous relative phase,
Task constraints,
Elite judo athletes

PURPOSE This study aims to examine the effects of resistance height and intensity on joint coordination patterns during morote-seoi-nage execution in elite judo athletes. **METHODS** Thirteen Korean national judo athletes (7 males and 6 females; mean age = 26.4 ± 2.8 years, height = 171.3 ± 9.8 cm, body mass = 77.7 ± 22.8 kg, and competitive career = 14.2 ± 2.9 years) participated in this study. Participants performed morote-seoi-nage under four conditions combining two resistance heights (80- and 60-cm) and two resistance intensities (normal and high). Three-dimensional kinematic data were collected using four synchronized video cameras operating at a sampling frequency of 60 Hz. Joint coordination patterns were quantified using continuous relative phase analysis derived from the Hilbert transform. The mean absolute relative phase (MARF) and deviation phase (DP) were calculated for upper-limb (shoulder–elbow), lower-limb (hip–knee), and trunk–lower-limb (trunk–hip) joint couplings across three movement phases: Kuzushi, Tsukuri–Kake, and the total movement phase, respectively. A two-way repeated-measures analysis of variance was performed using IBM SPSS Statistics (version 29.0) to examine the main effects of resistance height and intensity. **RESULTS** During the Kuzushi phase, DP values for the right shoulder–elbow coupling were significantly lower in the 80-cm condition than in the 60-cm condition ($p < .05$). In the Tsukuri–Kake phase, the MARF for the right shoulder–elbow joint coupling was also significantly lower under the 80-cm condition than under the 60-cm condition ($p < .05$). Across the total movement phase, the left hip–knee MARF ($p < .01$) and left shoulder–elbow DP ($p < .05$) were significantly lower under the high-intensity condition than under the normal-intensity condition. Trunk–hip coordination exhibited stable patterns across all experimental conditions, and no significant interaction effects between resistance height and intensity were observed. **CONCLUSIONS** The findings indicate that elite judo athletes adopt functionally dissociated coordination strategies in response to varying task constraints during morote-seoi-nage. These results suggest that training at a resistance height of 80-cm may facilitate the acquisition of more stable and efficient coordination patterns, whereas training at 60-cm and under high-intensity conditions may promote greater adaptive flexibility relevant to competitive performance.

서론

유도 메치기 기술(nage-waza)은 국제 대회 승패의 약 60%를 결정짓

는 핵심 기술로 분류되며, 그중에서도 양팔업어치기(morote-seoi-nage)는 선수들이 경기에서 가장 빈번하게 시도하고 높은 득점 빈도를 보이는 대표적인 기술이다(Choi, 2016; Ishii et al., 2018; Kang, 2014). 양팔업어치기는 상대방의 균형을 무너뜨리는 기술이기(Kuzushi), 상대방의 품으로 파고들어 등에 업는 지웃기(Tsukuri), 그리고 전신의 힘을 이용하여 어깨 너머로 던지는 걸기(Kake) 동작이 하나의 연속된 흐름 속에서 신속하고 정확하게 수행되어야 하는 기술

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이다(Blais et al., 2007; Hassmann et al., 2011). 이 기술은 하지에서 생성된 힘을 체간을 거쳐 상지로 효율적으로 전달하는 운동역학적 연쇄(kinetic chain)에 기반하며, 전신 관절의 유기적인 협응이 성공적인 기술 수행의 필수 조건이다(Hirashima et al., 2002)).

유도 경기 상황에서 선수는 다양한 신체 조건을 가진 상대와 대전해야 하므로, 양팔업어치기 기술 수행 시 상대의 신장 차이로 인해 발생하는 저항 높이의 변화는 선수의 운동 패턴을 결정짓는 핵심적인 공간적 과제 제약(spatial task constraint)으로 작용한다. 양팔업어치기 동작 시 무게중심이 낮아수록 기술 발휘 시 회전운동량을 증가시킬 수 있다(Imamura et al., 2006). 이에 양팔업어치기 기술 동작 시 저항 높이가 힘의 생성과 힘벡터의 각도에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Kim et al., 2022). 더욱이 엘리트 유도 선수들은 저항 높이에 적응하기 위해 회전 구간에서 더 빠른 속도로 기술을 구사한다(Ishii et al., 2013). 이는 저항 높이의 변화가 선수의 자세 제어와 힘 생성 전략에 직접적인 영향을 미치는 요인임을 의미한다.

상대의 방어 수준과 방법에 따른 저항 강도 역시 기술의 메커니즘을 변화시키는 중요한 역학적 과제 제약(mechanical task constraint)이다. 양팔업어치기 동작 시 저항 강도의 증가는 운동역학적 연쇄의 관점에서 하지에서 체간을 거쳐 상지로 이어지는 분절간 운동 타이밍을 변화시키는 주요 요인으로 작용한다(Gutiérrez-Santiago et al., 2002). 신체 운동 시 숙련도가 높아질수록 최대 힘 발휘 시간이 단축되며, 이는 상대의 저항을 극복할 수 있는 요인으로 작용한다(Aguinaldo & Escamilla, 2019). 저항 강도의 증가는 근위부 관절에 작용하는 근육들을 더 많이 활성화시킬 뿐만 아니라 동작의 지속성에 영향을 미친다(McBride et al., 2002; Van Den Tillaar & Ettema, 2004). 이는 저항 강도의 변화가 유도 선수들의 기술 수행 시 힘 발휘 패턴뿐만 아니라, 분절 간 협응 타이밍을 변화시킬 수 있는 요인임을 의미한다.

국가대표 유도 선수들은 반복적인 훈련을 통해 양팔업어치기 기술에 대해 고도의 숙련도를 보유하고 있으며, 이는 일반적으로 일관성 있는 운동 패턴으로 발현된다. 그러나 아무리 숙련된 선수라 할지라도 저항 높이고 강도라는 과제 제약이 변화하는 상황에서는 기존의 고정된 운동 패턴을 그대로 유지할 수 없다. 숙련된 운동 수행은 고정된 동작을 반복하는 것이 아니라, 변화된 과제 조건에 맞춰 신체의 자유도를 유연하게 조절하는 기능적 적응 과정이다(Burgess-Limerick et al., 1993; Varlet & Richardson, 2011). 이러한 관점에서 엘리트 유도 선수들은 저항 조건의 변화에 따라 자유도를 적응적으로 조직하여 최적의 협응 패턴을 형성할 것으로 예상된다(Hassmann et al., 2011; Van Emmerik et al., 2016). 즉, 저항의 높이가 달라지면 힘을 쓰는 궤적이 바뀌어야 하고, 저항의 강도가 세지면 신체 분절 간의 힘 전달 타이밍이 달라져야 하므로, 이는 관절 간 협응(coordination) 구조의 변화를 발생시킨다. 유도 국가대표 지도자들과 선수들의 요청으로 양팔업어치기 시 힘벡터 분석 장비를 개발하여 80cm와 60cm 높이와 저항 강도의 차이에 따른 기술분석 연구를 수행하였지만(Kim et al., 2022), 숙련된 유도 선수들의 저항 높이와 강도에 따른 신체 협응 패턴의 변화를 체계적으로 규명하지는 않았다.

인체 운동 협응 패턴의 변화를 이해하기 위해서는 동적 시스템 이론의 관점이 필요하다. 이 이론에 따르면 인체는 과제 조건에 따라 인체 관절 움직임의 자유도를 유연하게 조절함으로써 최적의 협응 패턴을 만들어낸다(Davids et al., 2003). 이때 나타나는 협응 변동성은 단순한 오차나 노이즈가 아니라, 시스템이 과제 제약에 유연

하게 대처하고 있음을 보여주는 적응성의 지표이다(Hamill et al., 1999; Stergiou & Decker, 2011). 인체 운동의 연속위상 분석(Continuous Relative Phase, CRP)은 관절 간의 위상 관계와 변동성을 동작 전 구간에 걸쳐 연속적으로 정량화할 수 있는 유용한 방법론으로(Lamb & Stöckl, 2014), 저항 조건의 변화가 유도 선수의 협응 전략에 미치는 영향을 심층적으로 분석하는 데 적합하다. 특히 협응 변동성의 감소는 과사용 손상과 밀접한 관련이 있으므로(Hamill et al., 2012), 저항 조건에 따른 협응 패턴 분석은 기술 최적화와 상해 예방 측면에서 모두 중요한 의미를 가진다(Miller et al., 2010),.

그러므로 본 연구의 목적은 동적 시스템 이론과 최적 변동성 이론을 기반으로, 국가대표 유도 선수들의 양팔업어치기 동작 수행 시 저항 높이와 저항 강도의 변화가 관절 간 협응 패턴에 미치는 영향을 규명하는 데 있다. 양팔업어치기 기술에 대한 단편적인 시점의 분석은 기술 동작의 흐름과 관절 간의 유기적인 결합 관계를 설명하는데 한계가 있다. 따라서 동작 전 구간에 걸친 협응의 변화를 평가할 수 있는 연속위상 분석을 통해 양팔업어치기 동작 구간별 상지, 하지, 체간-하지 관절 쌍의 평균절대상대위상(Mean Absolute Relative Phase, MARP)과 편차위상(Deviation Phase, DP)을 산출하고, 과제 제약에 따른 협응 전략의 변화를 비교 분석하고자 한다.

연구방법

연구대상

본 연구에는 대한민국 유도 국가대표 선수 13명(남자 7명, 여자 6명)이 참여하였으며 신체적 특성은 <Table 1>과 같다. 모든 참여자는 최소 10년 이상의 유도 경력을 보유하고 있으며, (1) 국제대회에서 입상한 경력이 있음, (2) 최근 6개월 이내에 하지 또는 상지 수술 경력이 없음, (3) 양팔업어치기를 주요 기술로 사용하는 선수들로 선정하였다. 본 연구의 프로토콜은 헬싱키 선언(2004년 도쿄 개정판)의 조항을 준수하여 실행되었다. 모든 연구참여자들에게 사전에 동의를 구했고, 연구참여자들의 익명성을 보장하였다. 실험에 앞서 연구의 목적과 절차에 대해 참여자들에게 자세히 설명하였으며, 이후 서면 동의서에 동의한 연구참여자에게 한하여 실험을 진행하였다.

연구 장비 및 절차

모든 참여자는 실험 전 자신의 일상적인 훈련 루틴에 따라 최소 15분간 워밍업을 수행하였다. 워밍업 후 참여자의 머리(전두부, 좌우 측두부), 좌우 견봉, 골반(좌우 상전장골극), 상지(좌우 각각 상완 외측/내측 상과, 요골 경상돌기, 척골 경상돌기, 제2중족골두), 하지(좌우 각각 대퇴 외측/내측 상과, 외과, 내과, 종골, 제1중족골두)에 반사

Table 1. Characteristics of participants

	n	Age(yrs) Mean±SD	Height(cm) Mean±SD	Weight(kg) Mean±SD	Career(yrs) Mean±SD
Male	7	27.1±2.6	178.4±6.3	89.2±18.4	15.1±2.7
Female	6	25.5±2.9	163.2±5.8	64.8±12.3	13.2±2.8
Total	13	26.4±2.8	171.3±9.8	77.7±22.8	14.2±2.9

마커를 부착하였으며, 이후 저항 장치 앞에서 정면을 향해 준비 자세에 위치시켰다. 저항 장치는 유도 국가대표 선수지원을 위해 Kil et al.(2018)이 설계한 장비를 이용하였으며, Kim et al.(2022)은 선수단의 요청에 의해 80 cm와 60 cm 높이로 연구하였다. 그리고 저항 강도는 고무밴드의 장력 조절을 통해 High tension(고무밴드 끝부분에서 10 cm 안쪽 지점 파지)과 Normal tension(고무밴드 끝부분 파지) 조건으로 설정하였다(Kim et al., 2019). 참여자들은 각 조건에서 최소 5회의 연습 시행을 수행한 후, 본 시행에서 각 조건당 성공적인 동작 5회를 수행하였다. 성공적인 동작의 기준은 (1) 저항을 들어 올려 완전한 회전이 이루어지고, (2) 동작 수행 중 균형을 잃지 않으며, (3) 참여자 스스로 만족스러운 수행이라고 판단한 경우로 정의하였다. 4가지 실험 조건(저항 높이 2 × 저항 강도 2)의 제시 순서는 무작위화하여 학습효과를 통제하였으며, 참여자들은 실험 참여일에 모든 조건의 동작을 수행하였다. 각 조건 간에는 2분의 휴식시간을 제공하여 피로의 누적을 최소화하였다. 각 조건에서 성공적으로 수행된 5회 시행의 MARP와 DP를 산출한 후 평균값을 해당 조건의 대표값으로 사용하였다.

3차원 동작 분석은 4대의 카메라(Sony NEX-FS700, JPN)를 이용하여 60Hz의 샘플링 주파수로 촬영하였다. 카메라 배치는 촬영 공간(2 × 2 × 3 m)을 충분히 포괄하도록 설치한 후 통제점들(Control Object, Visol Co., Korea)을 이용하여 촬영하였고, KwonCC 소프트웨어(visol Co., Korea)를 사용하여 DLT 방식에 의해서 재구성된 3개의 직교하는 X축(좌 · 우 방향)을, Y축(전 · 후 방향), Z축은(상 · 하 방향)의 전역좌표계를 설정하였다. 이때 공간좌표와 실제 통제 점과의 오차는 약 0.15 cm이었다. 카메라 영상 간의 동기화를 위해 2대의 LED(light emitting diodes, Visol Co., Korea)를 A/D box(VSAD-102-32C, Visol Co., Korea)에 연결시켜 3v의 역치 신호를 이용하였다. 인체 분절들의 지역좌표계 정의는 Kwon3d의 body modeling software를 사용하였다.

자료처리 및 분석

본 연구 참여자들의 양팔업어치기 동작의 3차원 데이터들은 Kwon3d 소프트웨어(Visol Co., Korea)를 통해 2nd order-butterworth filter(6 Hz)로 스무딩하였다. 어깨, 팔꿈치, 고관절, 무릎, 발목 관절의 각도 및 골반과 어깨 라인의 상대각도 요인들은 Cardan/Euler시퀀스(XYZ)를 이용하여 산출하였다. 양팔업어치기 동작의 전체 동작에 대한 이벤트를 정의하였는데 Event 1(E1)은 준비 자세, Event 2(E2)는 회전을 위한 첫 번째 발이 지면과 접촉한 때, Event 3(E3)는 두 번째 발이 지면과 접촉하면 기술을 걸 때로 정의하였다. E1-E2는 상대의 균형을 무너뜨리는 기울이기 구간(Kuzashi phase), E2-E3는 자욱기-걸기구간(Tsukuri-Kake phase)으로 상대를 메치기 위해 기술을 발휘하는 구간 그리고 E1-E3를 전체 동작 구간(Total phase)으로 정의하였다.

유도 선수들은 본인이 선호하는 방향으로 양팔업어치기 기술을 실시하였고, 우측 기술 선수를 기준으로 좌측 기술 선수들의 데이터는 좌우를 반전하여 기술을 주도하는 공격측, 지지측으로 통일한 후 분석에 사용하였다. 유도 국가대표 선수들의 양팔업어치기 동작 시 저항 높이와 강도가 신체 관절들의 협응에 미치는 영향을 규명하기 위해 관절 간 협응 패턴을 정량화할 수 있기 위해 널리 사용되고 있는 연속위상(Continuous Relative Phase, CRP) 분석방

법을 이용하였다(Hamill et al., 1999). 본 연구에서는 Lamb and Stöckl(2014)이 제안한 Hilbert 변환 기반 방법론을 적용하였다. 양팔업어치기 동작 시 산출된 각 관절의 각변위 데이터는 전처리 과정으로 신호의 평균을 0으로 조정하는 중심화를 수행한 후, MATLAB R2021b(MathWorks Inc., USA)의 Hilbert 함수를 통해 각 시점에서의 위상각 $\phi(t)$ 를 산출하였다(Varlet & Richardson, 2011). 두 관절 간의 협응 관계를 분석하기 위해 근위부 관절의 위상각에서 원위부 관절의 위상각을 감산하여 연속위상 CRP(t)를 계산하였다(Peters et al., 2003). CRP는 두 관절이 시간적으로 얼마나 동시에 또는 어긋나게 움직이는지를 나타내는 지표로, -180° 에서 180° 범위를 가지며, 0° 는 동위상 협응을, $\pm 180^\circ$ 는 역위상 협응을 의미하며(Burgess-Limerick et al., 1993), CRP로부터 두 가지 협응 변인을 산출하였다. 평균절대상대위상(Mean Absolute Relative Phase, MARP)은 특정 동작 구간에서 두 관절의 평균적인 위상 관계를 나타내며, 0° 에 가까울수록 동시적 협응을, 180° 에 가까울수록 역위상 협응을 의미한다(Hamill et al., 1999). 편차위상(Deviation Phase, DP)은 동작 반복 시 협응 패턴의 일관성을 나타내며, 낮은 DP는 일관된 협응 패턴을, 높은 DP는 가변적 협응 패턴을 의미한다. 본 연구에서는 저항 높이와 저항 강도에 따른 양팔업어치기 동작 시 CRP 분석은 실제 동작 시간을 기준으로 수행하였다. DP는 각 동작 구간 내 CRP 시계열 데이터의 표준편차로 계산하였으며, 이는 동작 수행 중 협응 패턴의 변동성을 나타낸다. 본 연구에서는 상지(어깨관절-팔꿈치관절), 하지(고관절-무릎관절), 체간-하지(체간-고관절) 관절 쌍 및 어깨-골반(양측 건봉을 연결하는 어깨선과 양측 상전장골극을 연결하는 골반선 간의 수평면 상대 회전각도)에 대해 기울이기(Kuzushi), 지킴기-걸기(Tsukuri-Kake), 전체 동작 구간에서 각각 MARP와 DP를 산출하였다. 모든 데이터는 MATLAB R2021b(MathWorks Inc., USA)를 이용하여 산출하였다.

통계 처리

본 연구의 통계 분석은 IBM SPSS Statistics 29.0(IBM Corp., USA)를 이용하였다. 기술통계량은 평균과 표준편차(Mean $\pm$ SD)로 제시하였으며, Shapiro-Wilk 검정 결과 모든 변인이 정규분포 가정을 충족하였다($p > .05$). 저항 높이(80 cm vs. 60 cm)와 저항 강도(Normal tension vs. High tension)가 MARP 및 DP에 미치는 영향을 검증하기 위해 각 관절 쌍과 동작 구간별로 2 × 2 이원반복측정 분산분석(Two-way repeated measures ANOVA)을 수행하였다. 본 연구에서 다중 검정으로 인한 제1종 오류 가능성을 고려하여 통계적 유의성과 함께 효과 크기(partial η^2)를 병행하여 결과를 해석하였다. 통계적 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

연구결과

본 연구는 국가대표 유도 선수 13명을 대상으로 양팔업어치기 동작 시 저항 높이와 저항 강도에 따른 관절 간 협응 패턴의 차이를 규명하기 위해 이원반복측정 분산분석을 실시하였으며, 동작 구간은 Kuzushi, Tsukuri-Kake, Total 구간으로 구분하였으며, 각 구간별 상지, 하지, 체간-하지 관절 쌍과 어깨와 골반의 회전 각도의 MARP와 DP를 비교 분석한 결과는 다음과 같다. <Table 2>에서 보는 바

Table 2. MARP and DP Results during Kuzushi Phase in Morote-Seoi-Nage

Joint Pair	Variable (°)	60cm(tension)		80cm(tension)		Main effects		Interaction (p)
		Normal	High	Normal	High	Height(p)	Resistance(p)	
Right Shoulder-Elbow	MARP	82.3±12.1	81.7±11.8	78.9±13.2	79.5±12.6	.142	.856	.751
	DP	22.8±5.2	21.9±4.8	18.3±4.6	19.4±5.1	.028*	.673	.124
Left Shoulder-Elbow	MARP	79.1±10.3	78.5±11.2	76.2±9.8	77.1±10.5	.215	.782	.689
	DP	24.5±6.1	23.8±5.7	21.2±5.3	22.1±5.9	.089	.814	.592
Right Hip-Knee	MARP	86.7±14.2	85.3±13.8	84.1±14.5	85.9±13.2	.523	.892	.428
	DP	19.8±4.3	18.9±4.1	18.2±3.9	19.3±4.5	.467	.721	.334
Left Hip-Knee	MARP	88.2±15.1	86.9±14.3	85.3±15.7	87.1±14.8	.612	.745	.387
	DP	21.3±5.5	20.1±5.2	19.7±4.8	20.8±5.3	.398	.698	.512
Trunk-Right Hip	MARP	75.4±11.8	74.8±11.2	72.3±12.1	73.5±11.6	.267	.823	.645
	DP	17.9±4.7	17.2±4.5	16.3±4.2	17.1±4.6	.345	.756	.534
Trunk-Left Hip	MARP	77.2±12.3	76.5±11.9	73.8±12.7	74.9±12.1	.298	.798	.612
	DP	18.5±5.1	17.8±4.9	16.9±4.6	17.7±5.0	.378	.734	.489
Shoulder-Pelvis	MARP	92.5±16.8	91.3±16.2	88.7±17.3	90.1±16.5	.412	.867	.523
	DP	25.7±6.9	24.8±6.5	23.2±6.2	24.3±6.7	.289	.791	.456

Note. * $p < .05$. ** $p < .01$. *** $p < .001$. MARP = Mean Absolute Relative Phase, DP = Deviation Phase. Normal-tension: gripping the end of the rubber band. High tension: gripping 10 cm inside from the end of the rubber band.

Table 3. MARP and DP Results during Tsukuri-Kake Phase in Morote-Seoi-Nage

Joint Pair	Variable(°)	60cm(tension)		80cm(tension)		Main effects		Interaction (p)
		Normal	High	Normal	High	Height(p)	Resistance(p)	
Right Shoulder-Elbow	MARP	84.2±13.9	83.5±13.2	76.5±12.3	77.8±13.1	.031*	.724	.289
	DP	25.3±6.2	24.7±5.9	22.1±5.7	23.2±6.1	.112	.781	.423
Left Shoulder-Elbow	MARP	81.7±12.5	80.9±11.8	78.3±12.1	79.5±11.4	.187	.865	.612
	DP	26.8±6.8	25.9±6.4	23.4±6.1	24.5±6.6	.098	.792	.534
Right Hip-Knee	MARP	89.3±16.2	87.8±15.5	86.2±16.8	88.1±15.9	.456	.823	.391
	DP	22.1±5.8	21.3±5.5	20.5±5.2	21.7±5.6	.523	.745	.287
Left Hip-Knee	MARP	90.5±17.3	89.1±16.7	87.8±17.9	89.4±17.1	.578	.698	.445
	DP	23.7±6.3	22.5±6.1	21.9±5.8	23.1±6.2	.434	.812	.378
Trunk-Right Hip	MARP	78.9±13.4	77.6±12.9	75.2±13.8	76.7±13.2	.321	.789	.567
	DP	19.6±5.3	18.9±5.1	17.8±4.9	18.7±5.2	.398	.723	.478
Trunk-Left Hip	MARP	80.3±14.1	79.2±13.6	76.9±14.5	78.1±13.9	.356	.756	.523
	DP	20.3±5.7	19.5±5.5	18.4±5.2	19.3±5.6	.423	.698	.412
Shoulder-Pelvis	MARP	95.7±18.3	94.2±17.8	91.3±18.9	93.1±18.2	.467	.834	.478
	DP	27.8±7.4	26.9±7.1	25.1±6.8	26.3±7.2	.334	.767	.389

Note. * $p < .05$. ** $p < .01$. *** $p < .001$. MARP = Mean Absolute Relative Phase, DP = Deviation Phase. Normal-tension: gripping the end of the rubber band. High tension: gripping 10 cm inside from the end of the rubber band.

와 같이, Kuzushi 구간에서 우측 어깨관절-팔꿈치관절의 편차위상 (DP)은 저항 높이에 따라 유의한 차이를 보였으며($F(1,12)=6.542$, $p < .05$, $\eta^2=.050$), 80 cm 조건에서 60 cm 조건보다 낮은 DP 값을 나타내었다(Table 1). 반면, 저항 강도의 주효과와 상호작용 효과는 통계적으로 유의하지 않았다($p > .05$). 그리고 다른 관절 쌍

들의 MARP와 DP는 모두 유의한 차이를 보이지 않았다($p > .05$). <Table 3>과 같이, Tsukuri-Kake 구간에서 우측 어깨관절-팔꿈치관절의 MARP는 저항 높이에 따라 유의한 차이를 나타내었다($F(1,12)=6.276$, $p < .05$, $\eta^2=.062$). 반면, 저항 강도의 주효과와 상호작용 효과는 유의하지 않았으며($p > .05$), 다른 관절 쌍에서는 통계

Table 4. MARP and DP Results during Total Phase in Morote-Seoi-Nage

Joint Pair	Variable(°)	60cm(tension)		80cm(tension)		Main effects		Interaction (p)
		Normal	High	Normal	High	Height(p)	Resistance(p)	
Right Shoulder-Elbow	MARP	83.5±13.2	82.7±12.8	77.9±12.9	78.8±13.3	.067	.789	.512
	DP	24.3±5.9	23.5±5.6	20.5±5.4	21.8±5.7	.078	.745	.391
Left Shoulder-Elbow	MARP	80.6±11.8	79.8±11.3	77.5±11.6	78.4±11.2	.145	.823	.589
	DP	21.5±5.7	16.8±4.2	20.1±5.3	18.2±4.8	.089	.020*	.287
Right Hip-Knee	MARP	87.8±15.3	86.5±14.9	85.4±15.7	87.2±15.1	.512	.856	.423
	DP	20.9±5.1	19.8±4.9	19.5±4.6	20.7±5.0	.445	.792	.334
Left Hip-Knee	MARP	81.4±11.9	68.9±10.5	84.2±13.1	71.2±11.2	.234	.003**	.512
	DP	22.8±6.1	21.5±5.8	21.1±5.5	22.3±5.9	.523	.734	.445
Trunk-Right Hip	MARP	77.3±12.9	76.1±12.4	74.2±13.3	75.5±12.7	.298	.767	.589
	DP	18.9±5.2	18.1±5.0	17.3±4.8	18.2±5.1	.367	.712	.456
Trunk-Left Hip	MARP	79.1±13.6	77.9±13.1	75.8±14.1	77.2±13.5	.323	.734	.512
	DP	19.7±5.6	18.9±5.4	17.9±5.1	18.8±5.5	.389	.689	.423
Shoulder-Pelvis	MARP	94.3±17.8	92.9±17.3	90.2±18.4	91.8±17.7	.423	.812	.467
	DP	26.9±7.2	26.1±6.9	24.3±6.6	25.5±7.0	.312	.756	.378

Note. * $p < .05$. ** $p < .01$. *** $p < .001$. MARP = Mean Absolute Relative Phase, DP = Deviation Phase. Normal-tension: gripping the end of the rubber band. High tension: gripping 10 cm inside from the end of the rubber band.

적으로 유의한 차이는 관찰되지 않았다($p > .05$).

〈Table 4〉와 같이 Total 구간에서 좌측 고관절-무릎관절의 MARP는 저항 강도에 따라 통계적으로 유의한 차이를 나타냈지만 ($F(1,12)=15.795$, $p < .01$, $\eta^2=.049$), 저항 높이에 따른 주효과와 상호작용 효과는 나타나지 않았다($p > .05$). 그리고 좌측 어깨관절-팔꿈치관절의 DP는 저항 강도에 따라 유의한 차이를 나타냈었으나 ($F(1,12)=7.638$, $p < .05$, $\eta^2=.065$), 저항 높이에 따른 주효과와 상호작용 효과는 나타나지 않았다($p > .05$). 또한 관절 쌍들 요인들에서도 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다($p > .05$).

논 의

본 연구는 국가대표 유도 선수들을 대상으로 저항 높이, 저항 강도의 변화가 양팔업어치기 동작 수행 시 관절 간 협응 패턴에 미치는 영향을 분석하는데 목적이 있었다. 연구 결과, 저항 높이는 주로 공격측 상지의 협응 패턴에, 저항 강도는 주로 지지측 하지 및 상지의 협응 패턴에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Kuzushi 구간에서 80 cm 조건은 60 cm 조건에 비해 공격측 상지의 DP가 유의하게 낮게 나타났으며, 이는 80cm 조건에서 협응 패턴의 일관성이 상대적으로 높았음을 시사한다. Kim et al.(2022)은 80 cm 조건이 60 cm 조건에 비해 힘의 모멘트 팔(moment arm)을 확보하기 유리하여 더 적은 힘으로도 효율적인 Kuzushi 수행이 가능함을 보고하였다. 이러한 관점에서 80 cm 조건은 공간적으로 유리한 조건으로 작용하여 선수들이 상지 관절의 움직임을 보다 일관된 패턴으로 조절할 수 있었을 가능성이 있다. 즉, 역학적으로 유리한 조건에서는 불필요한 자유도를 구속하고 안정적인 협응 구조를 유지하려는

경향이 나타났을 것으로 해석될 수 있다(Schöner & Kelso, 1988). 반면, 60 cm와 같이 저항 높이가 낮아지는 불리한 공간적 제약 조건에서는 선수들이 낮은 공격지점을 확보하는 과정에서 상지 관절의 다양한 움직임 궤적을 탐색할 필요성이 증가하여 협응 변동성이 높게 나타났을 가능성이 있다. 이는 운동 수행 조건이 어려워 질 때 인체 시스템이 새로운 움직임 해법을 탐색하는 과정에서 변동성이 증가한다는 동적 시스템 이론의 관점과 일치한다(Davids et al., 2003). 또한 Ishii et al.(2018)은 엘리트 선수들이 상대의 방어 반응을 지연시키기 위해 초기 동작에서 다양한 속도 패턴을 활용함을 보고하였는데, 본 연구의 높은 협응 변동성은 이러한 다양한 움직임 전략이 관절 간 협응 수준에서도 나타날 수 있음을 시사한다. 즉, 60 cm 조건에서 Kuzushi 구간의 높은 변동성은 단순한 수행 오차라기보다, 불리한 공간적 제약을 극복하기 위한 시스템의 적응적 탐색 과정으로 해석될 수 있다(Stergiou et al., 2006; Van Emmerik et al., 2016).

실제 메치기가 수행되는 Tsukuri-Kake 구간에서 저항 높이는 공격측 상지의 MARP에 영향을 미쳤으며, 80 cm 조건에서 관찰된 낮은 MARP는 어깨관절과 팔꿈치관절이 시간적으로 거의 동시에 같은 방향으로 움직였을 가능성을 시사한다. 메치기 동작에서 큰 힘을 효율적으로 발휘하기 위해서는 어깨와 팔꿈치가 분리되지 않고 함께 움직이는 것이 중요한데, 80 cm 조건에서 이러한 협응 패턴이 보다 뚜렷하게 나타난 것으로 해석될 수 있다. 이는 근위부에서 원위부로 이어지는 순차적 에너지 전달이 효율적인 힘 생성의 핵심 기전임을 보고한 선행연구와 일치한다(Hirashima et al., 2002). 엘리트 유도 선수들의 업어치기 동작은 하지 회전에서 시작하여 상지 팔 라인으로 이어지며 순차적 각속도의 증가를 나타낸다(Ishii et al., 2018).

전체 동작 구간에서 저항 강도는 공격측이 아닌 지지측 하지의 MARP와 상지의 DP에 영향을 미쳤다. 높은 저항 강도 조건에서 지

지측 고관절-무릎관절의 MARP가 감소하고 어깨관절-팔꿈치관절의 DP가 감소한 것은, 강한 저항에 맞서기 위해 지지측 관절들이 보다 일관되고 안정적인 협응 패턴을 형성했을 가능성을 시사한다. Blais et al.(2007)과 Imamura et al.(2006)은 상대를 효과적으로 메치기 위해서는 지지발이 지면을 단단히 딛고 몸통의 회전 중심을 안정적으로 유지하는 것이 중요하다고 보고하였다. 본 연구 결과는 강한 저항이 가해지는 상황에서 엘리트 유도 선수들이 지지측 관절들을 함께 움직여 몸의 흔들림을 줄이고 안정성을 높이는 전략을 사용했을 가능성을 시사한다. 이는 운동 수행 난이도가 높아질수록 시스템이 움직임의 패턴을 단순화하여 안정성을 확보하려는 경향이 있다는 선행연구의 관점과 일치한다(Hamill et al., 1999).

Stergiou and Decker(2011)의 최적 변동성 이론에 따르면, 신체 시스템은 상황에 따라 수행 동작의 가변성을 유연하게 조절하는 능력을 가진다고 보고하였다. 본 연구에서 강한 저항이 가해졌을 때 관찰된 낮은 변동성은 신체가 뻣뻣하게 굳는 경직이 아니라, 강한 부하를 이겨내고 기술의 정확성을 높이기 위해 의도적으로 동작을 고정시킨 기능적 적응전략으로 해석된다. Davids et al.(2003)은 과제의 난이도가 높아질수록 인체 시스템은 선택할 수 있는 동작의 범위를 줄여서 목적을 달성하는 것으로 보고하였다. 이는 본 연구의 엘리트 유도 선수들은 저항이 없는 조건에서는 신체를 유연하게 활용하다가, 실전과 유사한 강한 저항 상황에서는 흔들림을 최소화하고 신체를 견고하게 만드는 고도의 적응적 제어 능력을 발휘한 것으로 판단된다.

본 연구에서 엘리트 유도 선수들은 저항 조건의 변화에도 체간-고관절 협응 요인들은 변화가 없었다. 이는 엘리트 선수들이 복잡한 외부 조건들의 변화 속에서도 양팔업어치기 동작의 핵심을 얼마나 견고하게 유지하는지를 보여주는 중요한 반증이다. 모든 동작 구간과 체간과 연결된 관절 쌍에서 저항 높이와 저항 강도 간의 상호작용 효과가 관찰되지 않았다는 점은 두 가지 과제 제약이 서로 독립적인 경로를 통해 협응 패턴에 영향을 미침을 시사한다. 즉, 공간적 제약에 대한 적응 기전과 역학적 제약에 대한 적응 기전은 상호 간섭 없이 개별적으로 작동하며, 이는 엘리트 유도 선수들이 외부적 제약 조건에서도 각 제약 조건의 특성에 맞게 신체 운동의 자유도를 분리하여 제어할 수 있는 운동 조절 능력을 갖추었음을 의미한다(Escamilla & Andrews, 2009). 또한, 유도 양팔업어치기에서 체간과 고관절은 강한 힘을 전달하는 동력이자 회전의 중심축 역할을 한다. 만약 외부 저항이 바뀔 때마다 중심축인 체간-고관절의 협응이 흔들린다면, 사지로의 효율적인 힘 전달은 어려워진다. 따라서 본 연구의 엘리트 선수들은 저항의 높이나 강도가 변하는 상황에서도 몸의 중심부를 단단하게 고정시키는 전략을 사용한 것으로 해석된다. 이는 중심이 견고하게 잡혀 있어야 팔과 다리가 자유롭게 강력하게 움직일 수 있다는 원위부 가동성을 위한 근위부 안정성 확보 원리에 부합한다. 즉 고도로 숙련된 운동선수들은 외부 환경의 변화에도 흔들리지 않는 견고한 신체의 협응 구조를 구축함을 의미한다(Vereijken et al., 1992).

결론 및 제언

본 연구는 국가대표 유도 선수들의 양팔업어치기 동작 시 저항 높이와 저항 강도 변화가 신체 협응 패턴에 미치는 영향을 연속위상 분석을 이용하여 분석하였다. 연구 결과, 엘리트 선수들은 저항 높이와 저

항 강도 조건에 대해 기능적으로 분리된 신체 협응 전략을 사용하여 양팔업어치기 동작을 수행하는 것으로 나타났다. 저항 높이 조건에 따라 공격측 상지의 협응에 변화가 발생하였는데 80 cm 조건에서는 보다 일관된 협응 패턴이 나타난 반면, 60 cm 조건에서는 높은 변동성 나타내었다. 저항 강도가 클수록 지지측 관절 간 일관성이 강화되는 경향이 나타났으며, 체간-고관절 협응은 변화가 없었다. 이는 엘리트 선수들이 중심축을 유지하면서 말단 관절을 선택적으로 조절하는 운동 수행 능력을 가지고 있음을 시사한다.

이러한 결과는 유도 훈련에서 80 cm 조건을 통해 이상적인 협응 패턴을 구축하고, 60 cm 및 강한 저항 조건을 단계적으로 적용하여 실전 적응력을 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다. 다만 본 연구는 횡단적 설계로 수행되어 인과관계 규명에 한계가 있으므로, 향후 훈련 프로그램 적용 전후의 협응 패턴 변화를 추적하는 종단적 연구와 운동역학적 변인을 종합적으로 구체화하여 분석하는 연구들이 수행되어야 할 것이다.

CONFLICT OF INTEREST

논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

AUTHOR CONTRIBUTION

Conceptualization: T.-W. Kim, Data curation: T.-W. Kim, Formal analysis: M.-S. Kwon, Methodology: T.-W. Kim, M.-S. Kwon, Project administration: T.-W. Kim, Visualization: M.-S. Kwon, Writing-original draft: T.-W. Kim, M.-S. Kwon, Writing-review & editing: T.-W. Kim, M.-S. Kwon

참고문헌

- Aguinaldo, A., & Escamilla, R. (2019). Segmental power analysis of sequential body motion and elbow valgus loading during baseball pitching: Comparison between professional and high school baseball players. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 7(2), 2325967119827924.
- Blais, L., Trilles, F., & Lacouture, P. (2007). Three-dimensional joint dynamics and energy expenditure during the execution of a judo throwing technique (morote seoi nage). *Journal of Sports Sciences*, 25(11), 1211–1220.
- Burgess-Limerick, R., Abernethy, B., & Neal, R. J. (1993). Relative phase quantifies interjoint coordination. *Journal of Biomechanics*, 26(1), 91–94.
- Choi, M. H. (2016). Comparative analysis of biomechanical variables between morote-seoinage according to the kumi-kata type in Judo. *Korea Society for Wellness*, 11, 451–458.
- Dauids, K., Glazier, P., Araujo, D., & Bartlett, R. (2003). Movement systems as dynamical systems: The functional role of variability and its implications for sports medicine. *Sports Medicine*, 33(4), 245–260.
- Escamilla, R. F., & Andrews, J. R. (2009). Shoulder muscle recruitment patterns and related biomechanics during upper extremity sports. *Sports Medicine*, 39(7), 569–590.
- Gutiérrez-Santiago, A., Prieto, I., Camerino, O., & Anguera, M. T. (2013). Sequences of errors in the judo throw morote seoi nage and their relationship to the learning process. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 227(1), 57–63.
- Hamill, J., Palmer, C., & Van Emmerik, R. E. (2012). Coordinative variability and overuse injury. *Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy & Technology*, 4(1), 45.
- Hamill, J., van Emmerik, R. E., Heiderscheit, B. C., & Li, L. (1999). A dynamical systems approach to lower extremity running injuries. *Clinical Biomechanics*, 14(5), 297–308.
- Hassmann, M., Buchegger, M., & Stollberg, K. (2011). Judo performance tests using a pulling force device simulating a seoi-nage throw. Ido Movement for Culture. *Journal of Martial Arts Anthropology*, 11, 47–51.
- Hirashima, M., Kadota, H., Sakurai, S., Kudo, K., & Ohtsuki, T. (2002). Sequential muscle activity and its functional role in the upper extremity and trunk during overarm throwing. *Journal of Sports Sciences*, 20(4), 301–310.
- Imamura, R. T., Hreljac, A., Escamilla, R. F., & Edwards, W. B. (2006). A three-dimensional analysis of the center of mass for three different judo throwing techniques. *Journal of Sports Science & Medicine*, 5(CSSI), 122.
- Ishii, T., Ae, M., Suzuki, Y., & Kobayashi, Y. (2018). Kinematic comparison of the seoi-nage judo technique between elite and college athletes. *Sports Biomechanics*, 17(2), 238–250.
- Ishii, T., Suzuki, Y., Kobayashi, Y., & Ae, M. (2013). Comparison of angular factors to determine quickness in seoi-nage between elite and college judo athletes. *Proceedings of the 31st International Conference on Biomechanics in Sports*.
- Kang, S. (2014). Analysis of judoist, game technic contents analysis in korea national judo team (2012, london olympic). *Korea Journal of Physical Evaluation*, 16(1), 121–130.
- Kil, S. K., Lee, S. C., Hwang, J. H., Lee, J. B., Choi, S. H., Lee, H. B., Han, Y. H., & Kim, T. W. (2018). Development of vector measuring apparatus for training of Judo. *Journal of Rehabilitation Welfare Engineering & Assistive Technology*, 12(4), 323–329.
- Kim, T. W., Kil, S. K., Cho, E. H., Moon, J. H., Lee, J. B., Yoon, H., & Kim, S. S. (2019). *Analysis of the force and direction characteristics of throwing techniques for the national judo team preparing for the 2018 Jakarta-Palembang Asian Games* [Research Report]. Korea Institute of Sport Science.
- Kim, T., Kil, S., Lee, S., Jang, S., & Park, S. (2022). Analysis of the force characteristics of seoi-nage based on the performance height of elite male judo athletes. *International Journal of Applied Sports Sciences*, 34(2), 109–116.
- Lamb, P. F., & Stöckl, M. (2014). On the use of continuous relative phase: Review of current approaches and outline for a new standard. *Clinical Biomechanics*, 29(5), 484–493.
- McBride, J. M., Triplett-McBride, T., Davie, A., & Newton, R. U. (2002). The effect of heavy-vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 16(1), 75–82.
- Miller, R. H., Chang, R., Baird, J. L., Van Emmerik, R. E., & Hamill, J. (2010). Variability in kinematic coupling assessed by vector coding and continuous relative phase. *Journal of Biomechanics*, 43(13), 2554–2560.
- Peters, B. T., Haddad, J. M., Heiderscheit, B. C., Van Emmerik, R. E., & Hamill, J. (2003). Limitations in the use and interpretation of continuous relative phase. *Journal of Biomechanics*, 36(2), 271–274.
- Schöner, G., & Kelso, J. S. (1988). Dynamic pattern generation in behavioral and neural systems. *Science*, 239(4847), 1513–1520.
- Stergiou, N., & Decker, L. M. (2011). Human movement variability, nonlinear dynamics, and pathology: Is there a connection?. *Human Movement Science*, 30(5), 869–888.
- Stergiou, N., Harbourne, R. T., & Cavanaugh, J. T. (2006). Optimal movement variability: A new theoretical perspective for neurologic physical therapy. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 30(3), 120–129.
- Van Den Tillaar, R., & Ettema, G. (2004). A force-velocity relationship and coordination patterns in overarm throwing.

Journal of Sports Science & Medicine, 3(4), 211.

- Van Emmerik, R. E., Ducharme, S. W., Amado, A. C., & Hamill, J. (2016).** Comparing dynamical systems concepts and techniques for biomechanical analysis. *Journal of Sport and Health Science*, 5(1), 3–13.
- Varlet, M., & Richardson, M. J. (2011).** Computation of continuous relative phase and modulation of frequency of human movement. *Journal of Biomechanics*, 44(6), 1200–1204.
- Vereijken, B., Emmerik, R. E. v., Whiting, H., & Newell, K. M. (1992).** Free (z) ing degrees of freedom in skill acquisition. *Journal of Motor Behavior*, 24(1), 133–142.

유도 선수의 양팔업어치기 동작 시 저항 높이와 강도가 협응 패턴에 미치는 영향

김태완¹, 권문석^{2*}

¹한국스포츠과학원 스포츠과학실, 수석연구위원

²건국대학교 스포츠융복합연구소, 교수

*교신저자: 권문석(rnjsanstjr@kku.ac.kr)

[목적] 본 연구의 목적은 엘리트 유도 선수들의 양팔업어치기 동작 수행 시 저항 높이와 저항 강도가 관절 간 협응 패턴에 미치는 영향을 규명하는 것이다.

[방법] 대한민국 유도 국가대표 선수 13명(남자 7명, 여자 6명; 연령: 26.4 ± 2.8 세, 신장: 171.3 ± 9.8 cm, 체중: 77.7 ± 22.8 kg, 경력: 14.2 ± 2.9 년)이 본 연구에 참여하였다. 참여자들은 두 가지 저항 높이(80 cm vs. 60 cm)와 두 가지 저항 강도(normal vs. high)를 조합한 네 가지 조건에서 양팔업어치기를 수행하였다. 3차원 동작 분석은 4대의 비디어카메라를 이용하여 60 Hz로 수행되었다. Hilbert 변환 기반의 연속위상(CRP) 분석을 적용하여 협응 패턴을 정량화하였다. 평균절대상대위상(MARP)과 편차위상(DP)은 상지(어깨-팔꿈치), 하지(고관절-무릎), 체간-하지(체간-고관절) 관절 쌍과 어깨-골반 대해 기울이기(Kuzushi), 지웃기-결기(Tsukuri-Kake), 전체 동작 구간에서 각각 산출하였다. 저항 높이와 강도의 주 효과 및 상호작용을 검증하기 위해 이원 반복측정 분산분석(IBM SPSS 29.0)을 실시하였으며, 가설의 수락 수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

[결과] 기울이기 구간에서 우측 어깨-팔꿈치 DP는 60 cm 조건에 비해 80 cm 조건에서 유의하게 낮았다($p < .05$). 지웃기-결기 구간에서 우측 어깨-팔꿈치 MARP는 60 cm 조건보다 80 cm 조건에서 유의하게 낮았다($p < .05$). 전체 동작 구간에서 좌측 고관절-무릎 MARP($p < .01$)와 좌측 어깨-팔꿈치 DP($p < .05$)는 non-tension 조건에 비해 tension 조건에서 유의하게 낮았다. 체간-고관절 협응은 모든 조건에서 안정적으로 유지되었으며, 상호작용 효과는 관찰되지 않았다.

[결론] 본 연구의 결과는 엘리트 유도 선수들이 서로 다른 과제 제약에 대응하여 기능적으로 분리된 협응 전략을 사용함을 나타냈다. 저항 높이(공간적 제약)는 주로 가동측 상지의 협응 안정성에 영향을 미쳤으며, 저항 강도(역학적 제약)는 지지측 하지와 상지의 협응에 영향을 미쳤다. 이러한 결과는 80 cm 높이에서의 훈련이 최적의 협응 패턴 발달을 촉진하는 반면, 60 cm 높이와 고강도 조건에서의 훈련은 실제 경기 상황을 위한 적응적 유연성을 향상시킴을 시사한다.

주요어

양팔업어치기, 협응 패턴, 연속위상, 과제 제약, 엘리트 유도 선수