



## 태권도 돌려차기 동작의 운동학적 협응 및 제어과정

### The Process of the Kinematic Coordination and Control of Dollyochagi Motion in Taekwondo

윤창진 · 채원식\*(경북대학교)

Yoon, Chang-Jin · Chae, Woen-Sik\* (Kyungpook National Univ)

#### 국문요약

본 연구는 남자 중학교 초보피험자들을 대상으로 태권도 돌려차기 동작의 숙련정도에 따른 운동학적 협응과 제어과정을 살펴보는 데 목적을 두었다. 이용된 변인은 최대합성직선속도와 각도 대 각도 도면이었다. 분석결과, 연습 후기로 갈수록 인접한 분절간의 운동량 전이가 잘 이루어져 각 분절의 최대합성직선속도가 증가하였으며 무릎관절 최대굴곡 시까지는 엉덩관절과 무릎관절이 동형동조 협응형태로 변해갔으며, 최대굴곡 후 타격 시까지는 모든 숙련 단계에 있어서 이형동조 협응패턴을 나타내었다. 발목관절은 무릎관절 최대굴곡 시까지 배측굴곡 상태에서 저축굴곡으로 변했으며, 최대굴곡 후 타격시점까지는 발목관절은 고정시키고, 무릎관절은 신전시키는 자유도 고정 제어기전을 나타내었다.

#### ABSTRACT

C. J. YOON, and W. S. CHAE, The Process of the Kinematic Coordination and Control of Dollyochagi Motion in Taekwondo. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 18, No. 2, pp. 95-104, 2008. The purpose of this study was to investigate kinematic coordination and control of lower segments in skill process. For the investigation, we examined the difference of resultant linear velocity of segments and angle vs angle graph. Novice subjects were 9 male middle school students who has never been experienced a taekwondo and expert subjects were 7 university taekwondo players. We analyzed kinematic variables of Dollyochagi motion through videographical analysis and the conclusion were as follows.

1. Examining the graph of novice subjects' maximal resultant linear velocity of the thigh, shank, and foot segment, as it gets closer to the end of the training, the maximal resultant linear velocity in each segment increased. Statistical analysis showed the following results; thigh segment caused the increase of speed, using the trunk segment's momentum in the latter term of learning, while the shank segment utilized the momentum of the adjacent proximal segment at the beginning of learning, and the foot segment in the middle of learning.

2. Until the point where the knee joint angle is minimum, as the novice group learn the skill, the flexion of knee and hip joints has changed into the form of coordination pattern in phase. On the other hand, the expert group showed continual coordination pattern in phase that the movement sequences were smooth. From the knee joint maximal flexion to impact timing, all novice and expert groups showed coordination pattern out of phase.

3. From the knee joint maximal flexion to impact timing, the ankle joint was fixed and the knee joint was extended to all the novice stages and expert subjects.

KEYWORDS : COORDINATION, CONTROL, MOMENTUM TRANSFER, IN PHASE, OUT OF PHASE

## I. 서론

연습에 따라서 수행자에게 나타나는 동작특성의 변화는 협응(coordination)과 제어(control)라는 측면에서 살펴볼 수가 있다. 협응이란 동작이 진행되는 동안에 신체의 여러 분절들과 사지 사이에 일어나는 시·공간적인 관계를 의미하는 질적형태이고 반면에 제어는 협응을 구성하는 신체의 각 분절과 사지의 움직임에 시·공간적인 크기를 할당하는 양적인 조절작용(scaling process)을 말한다(Kugler, Kelso, & Turvey, 1980, 1982 ; Newell, 1985).

김기웅과 장국진(1999)에 의하면 숙달된 운동 선수가 기술의 수행에서 운동 에너지를 보다 효율적으로 사용하게 되는 이유는 그들이 동작의 생성에 사용되는 사지간의 협응성을 증가시키기 때문이라고 했다.

Bernstein(1967)에 의하면 기술이 습득된다는 것은 반복적인 연습을 통해 동작에 관여하는 잉여 자유도(redundant degrees of freedom)의 운용방법을 터득하는 것이라고 했다. 이에 관한 Bernstein의 가설은 최근 여러 연구에서 경험적으로 지지되고 있다. 예를 들어, Vereijken 등(1992)은 스키동작 모사과제를 학습시킨 결과 연습이 진행됨에 따라 개별자유도의 고정과 개별자유도간의 결속이 점차 해제되어 간다는 것을 증명하였다. Newell과 Van Emmerik(1989)의 연구에서는 글씨쓰기 과제를 오른손과 왼손으로 수행시킨 결과, 늘 사용하는 오른손보다 익숙치 않은 왼손에서 관절간의 결속이 강하게 나타났다. 또 Steenbergen 등(1995)은 오른손과 왼손으로 빈 컵과 물이 가득찬 컵을 운반하는 과제를 수행시킨 결과, 과제조건이 어려울수록 즉, 왼손으로 물이 가득찬 컵을 운반할 때 개별자유도의 고정과 개별자유도간의 결속이 강하게 나타나는 것을 확인하였다. Sparrow와 Irizarry-Lopez(1987)는 수평 트레드밀 위에서 피험자들에게 기기 동작을 반복적으로 연습시켰을 때 신체분절들 사이의 협응 형태가 유의하게 변화한다는 사실을 발견하였다. Anderson과 Sidaway(1994)는 축구 킥 동작 학습에서 연습이 진행됨에 따라 피험자들의 무릎 관절 및 대퇴관절의 상대 동작 형태가 유의하게 변화하여 킥 수행 기술의 향상

이 일어나고 있음을 보고하였다.

Southard와 Higgins(1987)는 하루에 10분씩 모두 10일간에 걸쳐 라켓볼을 포어핸드로 타구 연습하는 과제를 통해 피험자들이 처음에는 팔이 하나의 단위로 제어되었으나 연습이 진행됨에 따라 관절의 가동 범위가 증가하는 등 협응 및 제어 양상이 변화되었으며 또한 공의 타구를 위하여 팔이 공간에서 움직일 때 신체 각 부위가 다른 부위와 관련될 때의 속도가 현저하게 증가함을 발견하였다.

우리 인체가 다분절 시스템이기 때문에 인접 분절들간의 협응과 타이밍이 효율적인 수행을 위해 중요하다.

태권도에 있어서 차기란 김영선(1996)에 의하면 “발로 상대를 차는 공격기술” 이라고 했다. 이를 다시 말하면 무릎을 굽혔다가 펴는 힘 또는 다리를 움직여서 생기는 힘을 이용하여 휘두르거나 순간적으로 뺄는 기술을 차기라고 부른다는 것이다. 태권도 동작의 특징은 손과 발의 운동량을 크게 한 상태에서 충격적인 힘을 상대에게 가하는 데 있다고 할 수 있으며 이때 운동량을 크게 하기 위해서는 신체의 질량이 변하지 않기 때문에 속도를 크게 할 수 밖에 없다(윤창진, 1997).

배영상(1992)에 의하면 태권도 차기 기술의 가장 중요한 과제는 얼마나 빠른 속도로 상대의 신체부위에 정확히 타격하여 충격량을 전달할 것인가에 있다고 했다.

그러나 태권도 차기 기술의 가장 중요한 측면은 최대충격력을 타격목표에 빨리 전달하는 것이라고 할 수 있으며 이는 팔로스루(follow through)를 동반하는 축구 킥, 던지기, 테니스 등의 분절운동과의 차이점이리라 하겠다.

태권도 차기 동작에서 목표지점에 타격되는 신체부위는 발이지만 전달되는 힘은 발에서 나오는 것이 아니라 보다 근위분절에 있는 몸의 힘이 인접한 분절들의 운동을 일으키고 결국 최종적인 원위분절인 발로 운동량이 전달되어 타격이 이루어지는 것이라고 할 수 있다. 이러한 것들은 Southard와 Higgins(1987)의 연구처럼 분절간 동결되었던 각도 변화의 관계가 점차 개별화되고 독립적인 관계로 변화되는 자유도 운용방법의 변화와 관련이 있다. 따라서 Plagenhoef(1971)와 Bunn(1972)에 의한 스피드 총합의 원리(speed summation principle)에 해당되는 최대합성직선속도

(maximal resultant linear velocity)와 대퇴와 하퇴분절 간의 관계의 특징을 설명해주는 각도 대 각도 도면을 통해 자유도의 고정과 해제에 관한 정보를 알 수 있다.

태권도 차기 동작에 관한 여러 연구들(김상복, 2001; 육동원, 이세용, 김상규, 2002; 신제민, 1999; 최지영, 이옥진, 김승재, 2007a, 2007b)은 모두 숙련자와 비숙련자들을 단순 비교한 것이어서 동일 피험자들의 숙련과정에 따른 협응관계를 알 수 없다는 단점이 있다. 따라서 태권도 차기 동작과 같은 탄속적인 움직임의 숙련과정에 따른 운동학적 연구물들은 충분하지 않아서 협응의 전반적인 발달과정을 이해하는데 어려움이 있다. 이에 본 연구는 협응관계를 인지하는 중요한 변수로 스피드 총합의 원리(Plagenhoef, 1971; Bunn, 1972)와 인접한 두 관절각이 어떠한 공간적 관계 속에서 움직이는지를 정성적으로 나타내주는 대표적인 협응 변수인 각도 대 각도 도면을 숙련과정에 따라 점검하는데 목적을 두고 있다.

## II. 연구방법

### 1. 연구 대상자

본 연구의 피험자로는 이전에 태권도 차기 동작에 대한 사전경험이 없는 9명의 남자 중학교 3학년 학생으로 하였으며 이들의 동작을 비교할 숙련자 집단으로 7명의 K대학교 태권도 선수들을 피험자로 선정하였으며 이들의 신체적 특성은 <표 1>과 같다.

### 2. 실험 절차

S-VHS 캠코더(Panasonic 456, 60 fields/s) 6대를 사용하여 초보피험자들의 연습전, 1주연습후, 2주연

표 1. 피험자의 신체적 특성

그룹	신장(cm)	체중(kg)	나이(yrs)	경력(yrs)
초보집단	175.1±3.4	61.4±7.3	15.0±0.0	0.0
숙련집단	174.6±4.4	68.5±6.2	20.9±1.1	8.4±1.0

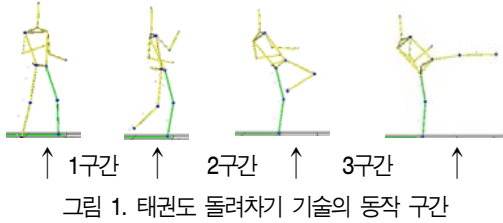
습후, 3주연습후 각각에 대해 운동학(kineamtics)적인 자료들을 수집하였다. 피험자들은 자신이 할 수 있는 한 빠르게 동작을 수행하였으며 5번의 태권도 돌려차기 동작을 수행한 후 그 중 가장 잘된 동작 하나를 분석하였다. 그리고 비교집단으로 숙련된 피험자들의 운동학적인 정보를 영상분석을 통하여 수집하였다. 구체적인 실험과제 수행계획은 <표 2>와 같다.

### 3. 자료 처리

본 연구에서 6대의 영상자료는 kwon3d 3.0 프로그램을 이용하여 3차원 좌표값을 산출하였다. 인체관절 중심점은 상지의 경우는 관절중심을 직접적으로 디지털 타이핑하여 관절좌표를 구하였다. 하지의 경우, 무릎과 발목관절 중심은 관절외측 두 개개의 중심으로 설정하

표 2. 실험과제 수행계획

연습기간	연습횟수(누적시행수)	측정/분석
연습전	0회	사전검사(5회/1회)
1일차	30회	
2일차	30회(60회)	
3일차	30회(90회)	
제1주 4일차	30회(120회)	
5일차	30회(150회)	
6일차	30회(180회)	
7일차		5회/1회
1일차	30회(210회)	
2일차	30회(240회)	
3일차	30회(270회)	
제2주 4일차	30회(300회)	
5일차	30회(330회)	
6일차	30회(360회)	
7일차		5회/1회
1일차	30회(390회)	
2일차	30회(420회)	
3일차	30회(450회)	
제3주 4일차	30회(480회)	
5일차	30회(510회)	
6일차	30회(540회)	
7일차		5회/1회



여 디지털이징 하였고 엉덩관절 중심의 경우 Tylkowski, Simon & Mansour(1982)에 의한 좌우측 전상장골극(L/R ASIS), 대전자(Great Trochanter)사이의 거리에 대한 비율로 추정하여 관절중심을 계산하였다. 본 연구를 위한 분석동작은 3개의 구간으로 나누었다. <그림 1>에 나타나 있듯이 1구간은 다리분절의 움직임이 시작되면서 차는 다리 발끝이 지면에서 떨어지는 시점(TO)까지이며, 2구간은 차는 다리의 발이 지면에서 떨어지는 시점에서부터 무릎관절각이 최소가 되는 시점(Mink)까지로 하며 3구간은 차는 다리의 무릎관절이 최소각을 이루는 시점에서 타격시점(impact)까지로 하였다.

각 분절 중심의 최대합성직선속도의 계산은 다음과 같이 하였다.

$$v = \sqrt{(v_{x2} - v_{x1})^2 + (v_{y2} - v_{y1})^2 + (v_{z2} - v_{z1})^2}$$

엉덩관절각은 몸통분절과 대퇴분절간의 상대각으로 정의하였으며 무릎관절각은 대퇴와 하퇴분절간의 상대각으로 정의하였다. 그리고 발분절각은 하퇴와 발뒤꿈치에서 발끝을 잇는 분절의 상대각으로 하였다.

통계처리는 일원반복분산분석(a one-way analysis of variance with repeated measures)을 실시하여 최대합성직선속도의 트레이닝 기간들간에 통계적으로 유의한 차이가 있는지를 살펴보았다. 만약 통계적 유의성이 발견된다면 사후검정을 실시하였으며 유의수준은 5%로 하였다. 또한 초보피험자들의 연습전, 1주연습후, 2주연습후, 3주연습후와 숙련자 그룹간의 통계적 유의성을 살펴보기 위하여 독립표본 t-test를 실시하였으며 통계적 유의성은 5%로 하였다.

### III. 결과 및 논의

#### 1. 최대 합성직선속도

<표 3>은 대퇴분절의 연습전과 1주, 2주, 3주후의 최대합성직선속도 차이를 일원반복분산분석 한 결과로 연습전과 3주 연습후, 1주 연습후와 3주 연습후, 2주 연습후와 3주 연습후 사이에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(P<0.05). 반면에 연습전과 1주, 연습전과 2주, 1주와 2주 연습후 사이에는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 못했다. 이러한 현상은 학습자가 연습초기에는 차기동작을 단지 다리분절만을 이용하였고, 대퇴분절의 근위분절인 몸통분절의 운동량을 이용하는 방법의 획득은 어느 정도 학습이 이루어진 연습후반기에 가서야 가능함을 의미한다.

<표 4>는 대퇴분절의 연습전, 1주연습후, 2주연습후, 3주연습후와 숙련자 집단간의 최대합성직선속도 평균 차이를 알아보기 위한 독립표본 t-test 결과이다. 결과에 따르면 대퇴분절의 합성직선속도는 연습전, 1주연습후, 2주연습후까지는 숙련자 집단과의 비교에서 유의한

표 3. 숙련과정에 따른 대퇴분절 최대합성직선속도 (m/s)

Tests	Mean±SD	df	F	Post hoc		
				B	C	D
(A)연 습 전	1.2±0.3			0.062	0.098	0.002**
(B)1주연습후	1.4±0.2	8	19.724		0.541	0.001**
(C)2주연습후	1.4±0.1					0.000**
(D)3주연습후	2.0±0.4					

Note. Significant difference at \* p<.05, \*\* p<.01.

표 4. 초보자와 숙련자간 대퇴분절 최대합성직선속도 (m/s)

Expert (Mean ± SD)	Novice (Mean ± SD)	t	df	P
1.9±0.2	1.2±0.3(연습전)	-5.367	14	0.000**
	1.4±0.2(1주후)	-4.808	14	0.000**
	1.4±0.1(2주후)	-6.048	14	0.000**
	2.0±0.4(3주후)	1.094	14	0.293

Note. Significant difference at \* p<.05, \*\* p<.01.

표 5. 숙련과정에 따른 하퇴분절 최대합성직선속도 (m/s)

Tests	Mean±SD	df	F	Post hoc		
				B	C	D
(A)연 습 전	3.9±0.6			0.000**	0.001**	0.002**
(B)1주연습후	4.6±0.4	8	21.082		0.018*	0.012*
(C)2주연습후	5.0±0.5					0.084
(D)3주연습후	5.5±0.7					

Note. Significant difference at \* p<.05, \*\* p<.01.

차이가 있는 것으로 나타났으며 3주연습후는 두 집단 간에 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 즉 연습이 대퇴분절의 속도를 숙련자 집단만큼 끌어올렸으며 이는 대퇴분절의 근위분절인 몸통분절의 이용 능력이 숙련자 집단만큼 향상되었음을 의미한다.

<표 5>는 하퇴분절의 연습전과 1주, 2주, 3주후의 최대합성직선속도 차이를 반복일원분산분석 한 결과로 대퇴분절의 경우와는 달리 2주와 3주 연습후에만 통계적으로 유의한 차이가 없을 뿐 다른 모든 경우에는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(p<.05). 이러한 현상은 학습자가 차기동작이 주로 다리분절을 이용하는 동작이라는 것을 인지한 관계로 학습초기부터 대퇴분절에서 하퇴분절로의 운동량 전이가 자연스럽게 이루어진 것이라고 사료된다.

<표 6>은 하퇴분절의 연습전, 1주연습후, 2주연습후, 3주연습후와 숙련자 집단과의 최대합성직선속도 평균 차이를 알아보기 위한 독립표본 t-test 결과이다. 결과에 따르면 하퇴분절의 합성직선속도는 연습전, 1주연습후, 2주연습후까지는 숙련자 집단과의 비교에서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며 3주연습후는 두 집단 간에 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

표 6. 초보자와 숙련자간 하퇴분절 최대합성직선속도 (m/s)

Expert (Mean ± SD)	Novice (Mean ± SD)	t	df	P
	3.9±0.6(연습전)	-7.141	14	0.000**
	4.6±0.4(1주후)	-6.202	14	0.000**
6.0±0.5	5.0±0.5(2주후)	-3.878	14	0.002**
	5.5±0.7(3주후)	-1.655	14	0.120

Note. Significant difference at \* p<.05, \*\* p<.01.

표 7. 숙련과정에 따른 발분절 최대합성직선속도(m/s)

Tests	Mean±SD	df	F	Post hoc		
				B	C	D
(A)연 습 전	5.9±0.7			0.057	0.002**	0.001**
(B)1주연습후	6.5±0.8	8	34.001		0.080	0.001**
(C)2주연습후	6.9±0.8					0.036*
(D)3주연습후	7.8±0.9					

Note. Significant difference at \* p<.05, \*\* p<.01.

이는 피험자들이 3주연습후 숙련자 집단만큼 빠른 속도로 대퇴분절에서 하퇴분절로 운동량을 전달시켜 주었기 때문으로 사료된다.

<표 7>은 발분절의 연습전과 1주, 2주, 3주후의 최대합성직선속도 차이를 반복일원분산분석 한 결과로 연습전과 2주, 연습전과 3주, 1주와 3주, 2주와 3주 연습후간에 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다(p<.05). 반면에 연습전과 1주, 1주와 2주 연습후간에는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 못했다. 이러한 현상은 2주연습후부터 연습의 효과가 나타나면서 하퇴분절에서 발분절로의 운동량 전이가 잘 이루어졌기 때문으로 생각된다.

<표 8>은 발분절의 연습전, 1주연습후, 2주연습후, 3주연습후와 숙련자 집단과의 최대합성직선속도 평균 차이를 알아보기 위한 독립표본 t-test 결과이다. 결과에 따르면 발분절의 합성직선속도는 연습전, 1주연습후, 2주연습후, 3주연습후까지 모든 경우에 숙련자 집단과의 비교에서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(p<.05). 이는 비록 3주간의 연습이 있었으나 하퇴분절에서 발분절로의 운동량 전이가 숙련자 수준만큼은 아직 이루어지지 않았음을 의미한다.

이와 같이 신체분절들의 최대합성직선속도 차이를

표 8. 초보자와 숙련자간 발분절 최대합성직선속도 (m/s)

Expert (Mean ± SD)	Novice (Mean ± SD)	t	df	P
	5.9±0.7(연습전)	-7.329	14	0.000**
	6.5±0.8(1주후)	-5.819	14	0.000**
9.5±1.3	6.9±0.8(2주후)	-5.014	14	0.000**
	7.8±0.9(3주후)	-3.201	14	0.006**

Note. Significant difference at \* p<.05, \*\* p<.01.

통계적으로 살펴 본 결과 대퇴분절은 학습후기에 와서야 비로소 몸통분절의 운동량을 이용하여 속도증가를 발생시켰으며 하퇴분절은 대체적으로 학습초기부터, 발분절은 학습중기부터 인접한 근위분절의 운동량을 원활하게 전달받은 움직임이 발생하는 것으로 나타났다.

한편, 최대속도 발생 시점은 <그림 2>에서 <그림 6>에서 알 수 있듯이 초보자들은 대략적으로 대퇴는 50% 에서, 하퇴는 70%에서, 발은 90% 시점에서 최대속도가 발생하여 인접한 원위분절에 운동량을 전이시켜 주는 것으로 나타났으나 숙련자들은 대퇴의 최대속

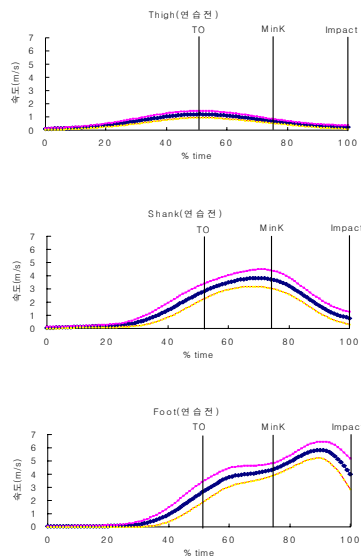


그림 2. 연습전 최대 합성 직선 속도

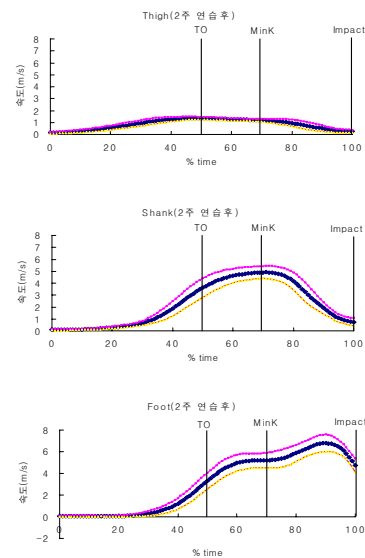


그림 4. 2주연습후 최대 합성 직선 속도

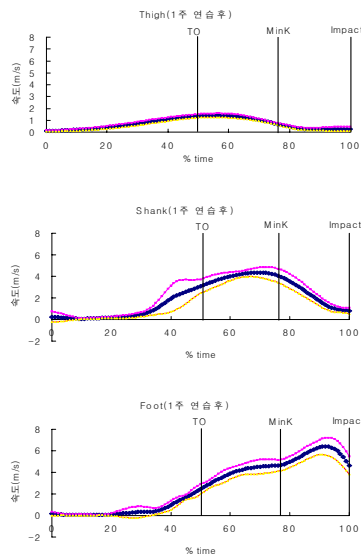


그림 3. 1주연습후 최대 합성 직선 속도

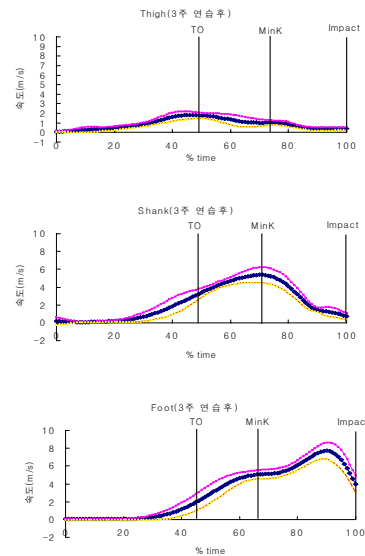


그림 5. 3주연습후 최대 합성 직선 속도

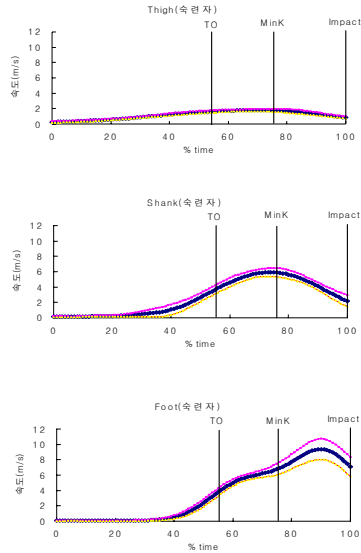


그림 6. 숙련자의 최대 합성 직선 속도

도는 71% 시점에서, 하퇴의 최대속도는 74% 시점에서 발생하여 크기에는 차이가 있으나 대체로 비슷한 모양의 그래프 형태를 보여주었다. 이러한 현상은 신제민(1999)의 논문과 같은 결과로 즉, 숙련자들은 초보자들에 비해 대퇴분절의 최대합성직선속도 발생시점이 늦게 나타나면서 동시에 하퇴분절의 속도증가도 거의 같이 이루어져 대퇴와 하퇴분절의 변화가 다소 독립적으로 나타난 초보자 집단과 차이를 보였다. 이러한 결과가 나타난 원인은 숙련자 집단이 초보자 집단보다 몸통분절의 이용능력이 더 우수하여 대퇴분절의 최대속도 발생시점이 늦었다고 볼 수 있으며 아울러 무릎관절이 최소각을 이루는 시점까지 대퇴분절과 하퇴분절을 강한 속박으로 동결하여 시·공간적인 변화를 동일하게 유지한 것이라고 생각된다. 이후 임팩트에 근접하면서 하퇴분절과 발분절간의 관계는 초보자와 숙련자 집단 모두 속박을 해제하는 협응형태를 보여주었다.

따라서 초보자와 숙련자 집단 간의 차이는 대퇴분절과 하퇴분절간의 협응형태로서 초보자 집단은 어느 정도 학습이 이루어지더라도 대퇴와 하퇴분절간의 관계가 다소 독립적인 반면, 숙련자 집단은 무릎관절이 최소각을 이루는 시점까지는 대퇴와 하퇴분절이 강한 속박으로 동결되는 협응형태를 보여주었다.

## 2. 각도 대 각도 그래프

각도 대 각도 그래프는 굴곡과 신전을 나타내는 좌우축에 대해서 분석되었다. 돌려차기 동작이 3차원 상에서 이루어지는 동작이기는 하나 굴곡과 신전면에서의 운동이 큰 역할을 하며 3주간의 학습으로는 내전/외전 및 내측회전/외측회전면상에서의 큰 변화를 가져올 수 없기에 2차원으로 축소하여 분석하였다.

<그림 7>은 초보자집단 9명의 연습전, 1주후, 2주후, 3주후의 엉덩관절과 무릎관절의 각도 대 각도 그래프와 숙련자 집단 7명의 각도 대 각도 그래프이다. 전체적인 형태는 다 같이 U자 모양으로 비슷하게 나타났다. 오른쪽이 동작의 시작이며 왼쪽이 마지막 타격시점이라고 할 수 있는 데 먼저 무릎관절의 굴곡이 최대로 발생하는 시점까지를 살펴볼 때 일반적으로 2가지 측면에서 차이점을 발견할 수 있다.

첫째, 무릎관절이 최대굴곡을 이루는 시점까지의 변화에서 엉덩관절의 크기가 연습전의 그래프보다 1주연습후부터 3주연습후까지의 그래프는 엉덩관절의 크기가 다소 작게 나타나는 현상을 보였다. 이러한 현상은 숙련자의 경우도 마찬가지였다. 즉 완전초보수준인 연습전의 그래프는 1주연습후부터 3주연습후 단계까지 그리고 숙련자의 그래프에 비해 다소 엉덩관절이 신전되었다고 할 수 있다. 이는 기능이 학습되면서 무릎관절의 굴곡과 엉덩관절의 굴곡이 좀 더 동형동조(in phase)협응 형태로 변해간다는 것을 의미한다고 생각된다. 그리고 무릎관절의 크기 또한 연습 전에 비해 좀 더 많이 굴곡 되었음을 알 수 있다. 그 크기는 1주연습후부터 숙련자그룹까지는 거의 비슷한 경향을 나타내고 있다. 이는 완전초보의 경우 강하고 빠른 발차기를

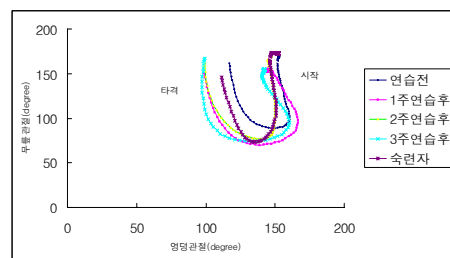


그림 7. 엉덩관절과 무릎관절의 각도 대 각도 그래프

위한 대퇴분절 근육의 사전신전동작(pre-stretching movement) 능력이 다소 부족함을 의미한다.

둘째, 연습전의 그래프를 보면, 무릎관절의 굴곡이 최대로 이루어지는 과정에서 엉덩관절이 다소 신전되는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 1주후와 3주후 그래프에서도 나타나는 현상이었으나, 다소 신전되다가 이내 굴곡현상을 나타내었으며 숙련자 그룹의 경우에는 타격시점까지 꾸준히 엉덩관절이 굴곡되는 것으로 나타났다. 이는 초보자 집단의 경우 무릎관절의 최대 굴곡이 발생하는 시점동안 약간의 이형동조(out of phase)현상을 보인 반면 숙련자 집단은 엉덩관절은 고정시키고 무릎관절은 굴곡되는 자유도의 고정(fixation) 제어기전을 보이며 동작의 연속성이 부드럽게 이루어졌다.

무릎관절의 최대 굴곡 후 타격시점까지의 패턴을 살펴보면, 연습전 패턴에서 숙련자 그룹패턴까지 모두 이형동조(out of phase)협응 패턴을 나타내어 엉덩관절이 꾸준히 굴곡 하는 동안 무릎관절은 지속적인 신전동작이 발생하면서 타격이 이루어지는 것으로 나타났다.

연습전 그래프와 그 이후의 그래프 형태가 다르다는 것은 연습으로 인한 대퇴분절과 하퇴분절간의 시·공간적 형태가 변화되었다는 것을 의미한다.

<그림 8>은 무릎관절과 발목관절의 각도 대 각도 그래프이다. 처음 발목관절이 배측굴곡된 상태에서 무릎관절 최대굴곡시점까지 저측굴곡상태로 변형되었으며 무릎최대굴곡시점부터 타격시점까지는 발목관절은 고정시키고 무릎관절은 신전시키는 자유도 고정 제어기전을 나타냈다. <그림 8>에서 보듯이 숙련단계에 따른 특이한 차이점을 보이지는 않았다.

우리 인체가 에너지의 유출입이 자유로운 열역학적

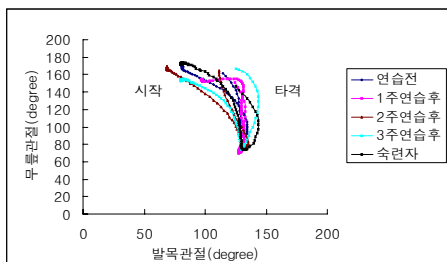


그림 8. 무릎관절과 발목관절의 각도 대 각도 그래프

개방시스템이라고 할 때 분절운동의 학습이 이루어지면서 많은 자유도를 갖는 복합시스템이 새로운 협응형태로 변이를 일으키는 자기조직(self organization)현상으로 생각된다. 이러한 것들은 안문경(1998), 이경식(2000), Kugler, Kelso, & Turvey(1982), Sparrow & Irizarry-Lopez(1987)의 연구결과와 일치하는 것으로 대뇌의 명령에 의해 새로운 동작 협응이 이루어지는 것이 아니라 시스템의 안팎으로 끊임없이 흐르는 에너지 작용과 많은 구성부분들인 신체분절들의 상호작용 결과로 인하여 자발적으로 이루어진다는 것이다. 이는 고도의 숙련을 요구하는 많은 자유도가 요구되는 동작들이 어떻게 제어되는 지를 이해할 수 있는 이론적 근거를 제시해 줄 수 있다고 생각된다.

비록 1주, 2주, 3주이후의 운동패턴이 숙련자 패턴과 비교해서 다르기 때문에 연습으로 인한 바람직한 패턴으로 간주할 수는 없으나 협응 패턴이 변해가는 일종의 과정으로서 완전초보 수준인 연습전과는 다른 패턴으로 나름대로 연습에 의한 새로운 협응 패턴이 자기조직화 되었다고 생각된다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구는 남자 중학교 초보피험자들을 대상으로 태권도 돌려차기 동작의 숙련정도에 따른 운동학적 협응과 제어과정을 살펴보기 위하여 영상분석을 실시하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 초보피험자들의 숙련과정별 대퇴와 하퇴 그리고 발분절간의 최대합성직선속도 그래프를 살펴보면 연습 후기로 갈수록 각 분절에 있어서 최대합성직선속도가 증가하였으며 이는 인접한 분절간의 운동량 전이가 효과적으로 잘 이루어진 결과로 생각된다. 통계적으로 살펴본 결과 대퇴분절은 학습후기에 몸통분절의 운동량을 이용하여 속도증가를 발생시켰으며, 하퇴분절은 학습초기에 발분절은 학습중기부터 인접한 근위분절의 운동량을 원활히 활용한 것으로 나타났다.



2. 무릎관절이 최소각을 이루는 시점까지에서 초보자 집단은 기능이 학습되면서 무릎관절의 굴곡과 엉덩관절의 굴곡이 좀 더 동형동조(in phase)협응 형태로 변해갔다. 반면에 숙련자 집단은 계속적인 동형동조 협응패턴이 나타나 동작의 연속성이 부드럽게 잘 이루어졌다. 무릎관절의 최대굴곡후 타격시점까지를 살펴보면, 초보자 집단의 연습전 형태에서 숙련자 집단까지 모두 이형동조(out of phase)협응 패턴을 나타내었다.

3. 무릎관절 최대굴곡시점까지에서 발목관절은 배측굴곡 상태에서 저측굴곡으로 변하였으며 최대굴곡시점부터 타격시점까지는 발목관절은 고정시키고 무릎관절은 신전시키는 자유도 고정 제어기전을 나타내었다.

본 연구에서는 초보피험자들을 대상으로 3주간의 연습으로 인한 협응 및 제어형태의 변화과정을 살펴보았는데 좀 더 정확한 기전(mechanism)을 이해하기 위해서는 장기간의 추적 연구가 이루어질 필요가 있으며 이를 바탕으로 내전/외전 및 내측회전/외측회전면상에서의 협응형태 변화를 고찰할 필요가 있다고 생각된다.

## 참고문헌

- 김기웅, 장국진(1999). **운동학습의 기초**. 서울 : 보경문화사.
- 김상복(2001). 다분절 체계의 운동인 태권도 옆차기 동작의 협응 형태와 근모멘트 특성. **한국운동역학회지**, 11, 355-369.
- 김영선(1996). 태권도의 핵심<차기> 「계간 태권도」 96호, 대한 태권도 협회.
- 배영상(1992). **태권도의 Biomechanics**, 계명대학교 출판부, 대구.
- 신제민(1999). **기술수준에 따른 태권도 돌려차기 동작의 협응 및 제어 형태 비교**. 미간행 박사학위논문. 연세대학교 대학원.
- 안문경(1998). **과제수행조건에 따른 신체분절의 제어형태**. 미간행 석사학위논문. 이화여자대학교 대학원.
- 이경식(2000). **점프유형과 점프높이에 따른 바운스 반동 점프의 협응 및 제어 형태 분석**. 미간행 박사학위논문. 한국체육대학교 대학원.
- 이옥진, 최지영, 김승재(2007). 태권도 뒤차기의 인체관절과 분절사이의 협응 형태. **한국운동역학회지**, 17, 73-82.
- 최지영, 이옥진, 김승재(2007). 태권도 돌려차기의 인체관절과 분절사이의 협응 형태. **한국체육학회지**, 46, 497-507.
- Anderson, D. L., & Sidaway, B. (1994). Coordination changes associated with practice of a soccer kick. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 65, 93-99.
- Bernstein, N. A. (1967). *The coordination and regulation of movements*. London: pergamon press.
- Bun, J. W.(1972). *Scientific Principles of Coaching*. Englewood, New Jersey: Prentice - Hall.
- Kugler, P. N., & Kelso, J. A. S., & Turvey, M. T. (1980). *On the concept of coordinative structure as dissipative structure : I. Theoretical lines of convergence*, In G. E. Stelmach and J. Requin (Eds.), *Tutorials in motor behavior*. Amsterdam : North-Holland.
- Kugler, P. N., & Kelso, J. A. S., & Turvey, M. T. (1982). *On the control of coordination of naturally developing systems*. In J. A. S. Kelso and J. E. Clark (Eds.), *The developing of movement control and coordination* (pp. 5-78). New York: Wiley.
- Kwon, Y. H.(2004). KWON3D. *Motion Analysis Package Ver 3.1*.

- Newell, K. M. (1985). *Coordination, control and skill*. In D. Goodman, R. B. Wilberg, and I. M. Franks (Eds.), *Differing perspective in motor learning, memory, and control*. New York: North-Holland.
- Newell, K.M., & Van Emmerik, R. E. A. (1989). The acquisition of coordination: Preliminary analysis of learning to write. *Human Movement Science*, 8, 17-32.
- Plagenhoef, S.(1971). *Patterns of Human Motion*. Englewood Cliffs. NJ: Prentice-Hall.
- Southard, D., & Higgins, T.(1987). Changing movement patterns: Effects of demonstration and practice. *Research Quarterly for Exercise and Sports*, 58, 77-80.
- Sparrow, W. A., & Irizarry-Lopez, V. M. (1987). Mechanical efficiency and metabolic cost as measures of learning a novel gross motor task. *Journal of motor Behavior*, 19, 240-264.
- Steenbergen, B., Marenik, R. G., & Kalbfleisch, L. E. (1995). Achieving coordination in prehension: Joint freezing and postural contributions. *Journal of Motor Behavior*, 27, 333-348.
- Tylkowski, C. M., Simon, S. R., & Mansour, J. M.(1982). *Internal rotation gait in spastic cerebral palsy*. Proceedings of the 10th open scientific meeting of the hip society. Mosby: St. Louis.
- Vereijken, B., Van Emmerik, R. E. A., Whitting, H. T. A., & Newell, K. M.(1992). Free(z)ing degrees of freedom in skill acquisition. *Journal of Motor Behavior*, 24, 113-142.

투 고 일 : 4월 30일

심 사 일 : 5월 6일

심사완료일 : 6월 20일