

The Biomechanical Study on the Timings of Tkatchev Motion in Horizontal Bar

중고등학교 우수 선수의 철봉 Tkatchev 기술의 순간 동작 시점에 관한 운동역학적 연구

Kyu-Chan Lim

School of Sport Science, University of Ulsan, Ulsan, South Korea

Received : 02 April 2019

Revised : 15 April 2019

Accepted : 16 April 2019

Objective: The aim of this study was to examine the relation between swing phase and airborne phase of Tkatchev motion which was successfully performed with following motion by excellent middle and high school athletes in horizontal bar.

Method: The subjects for this study were 8 male middle and high school top athletes. After their Tkatchev motions were filmed by two digital highspeed camcorders setting in 90 frames/sec at the 44th National Gymnastics against Cities and Provinces, the % lapse time · lapse time of each instant, inferred maximum force acting on horizontal bar, and other kinematical variables were calculated through DLT method. After the relations among the % lapse times of each instants of downswing-start, downswing-finish, whipswing-finish, release, peak-height, and lapse time of regrasp, the relation among maximum force acting on bar, % lapse time, peak height, and the relation between % lapse time and release height were examined, the biomechanical timing characteristics of Tkatchev motion were as follows.

Results: Firstly, it was revealed that the whole lapse time was $1.62 \pm .06$ s and the correlation between the % lapse time of downswing-start and % lapse time of release was .819. Secondly, it was revealed that the pattern of COG path was shifted forwardly and tilted 11 clockwise from origin. Thirdly, it was revealed that maximum force acting on bar was inferred in $2,283 \pm 425$ N ($4.7 \pm .6$ BW) and the correlation between maximum force and peak height was $r = .893$. Lastly, it was revealed that the horizontal and vertical component of body COG velocity was $-2.14 \pm .29$ m/s, $2.70 \pm .43$ m/s respectively, release height was $.49 \pm .12$ m, and shoulder angle was 139 ± 5 deg, and that the later the % lapse time of release, the higher the release height ($r = .935$).

Conclusion: It is desired that the gymnastic athletes should delay the downswing-start near the horizontal plane on 2nd quadrant because the later the % lapse time of downswing, the higher the release height. After all the higher release height could ensure the athletes to regrasp the bar safely, the athletes should exercise to make downswing-start delay.

Keywords: Tkatchev motion, Horizontal bar, Men's gymnastics, Giant swing backward

Corresponding Author

Kyu-Chan Lim

School of Sport Science,
University of Ulsan, Daehakro
93, Nam-gu, Ulsan, 44610,
South Korea

Tel : +82-52-259-2845

Fax : +82-52-259-1696

Email : kclim@ulan.ac.kr

INTRODUCTION

1. 연구의 필요성 및 목적

남자 선수들이 기계체조에 입문할 때 제일 먼저 연습하는

기구가 철봉인 것은 기본 요소인 흔들기가 링과 평행봉에도 포함되어 있기 때문이다. 이와 같이 철봉운동은 정지힘이 없이 흔들기를 중심으로 흔들기 및 틀기(long hang swings and turns), 비행 요소(flight elements), 봉에 근접하여 흔들기 및 팔 비틀어 흔들기(In bar and Adler elements), 그리고 내리기

(dismounts) 등 다양한 요소들을 결합한 종목이며(F.I.G., 2017), 이 중 Tkatchev는 철봉에서 흔들기를 한 후 뒤돌아 오르면서 몸이 봉 위로 오르려 할 때 몸을 반대로 버티고 젖히면서 손을 놓고 날아 넘은 다음 다시 봉을 잡는 기술로서 흔들기와 비행 요소가 포함된 철봉의 기본 기술이다(Kim, 1998). Lee와 Back (2006)은 Tkatchev 기술의 성공을 위해서는 봉 이탈 시 수직 상승력에 의한 충분한 체공시간, 효율적인 공중회전, 그리고 봉을 다시 잡을 때의 안정성이 요구된다고 하였다. 지금까지 Tkatchev의 국내 연구들을 살펴보면, Kang, Park, Kim과 Choi (2001)은 실험상황에서의 Tkatchev 동작을 분석하면서 국면에 따른 고관절 각도와 각속도 및 각도 변인과 신체중심의 속도와 시간 등을 제시하였고, Kim (1998)은 '철봉운동 몸펴 Tkatchev 동작의 운동학적 분석'에서 예비 휘둘기 동작에 따른 이수 동작의 운동학적 특성이 공중 동작 및 착수 동작에 미치는 영향을 분석하면서 각 국면별 운동학적 변인들의 특성을 제시하였다. Lee와 Back (2006)은 '철봉 Tkatchev 동작의 운동학적 분석'에서 우수 선수 4명을 대상으로 Tkatchev를 3차원으로 영상분석한 결과, 전체 소요시간은 1.54초이고, 그 스윙 구간의 시간은 짧고 비행 구간의 시간은 길어야 한다고 밝혔고, 공중 동작의 정점에서 고관절과 무릎관절을 펴고 동체 경사각을 수직에 가깝게 유지해야 한다고 주장하였다. 이외에도 Back, Park과 Lee (2010)의 '철봉 Tkatchev 기술 동작의 훈련프로그램 적용을 통한 향상도 평가', Lee (2007)의 '철봉 몸펴 Tkatchev 동작의 운동학적 분석', Back과 Son (2008)의 '기술처치에 의한 철봉 Tkatchev stretched 동작의 사례 연구', Kim (1996)의 '이단평행봉과 철봉에서의 Tkatchev 동작분석' 등의 많은 국내 연구가 진행되었다.

Tkatchev는 흔들기가 먼저 이루어지고 적절한 타이밍 때 전신을 던져 몸을 투사체로 전환시킨 후 두 다리를 벌린 상태에서 몸이 공중 궤적에 따라 이동을 시켜야 하는 역학적 변인들이 존재한다. 빠른 흔들기를 위해 전신은 고관절을 이용한 채찍 동작을 수행한 후 투사체 움직임으로 전환된다. 이 기술은 고관절을 cocking해서 과신전된 상태로 끌고 내려오는 downswing, 고관절을 uncocking해서 최대로 굴곡하는 순간까지의 whipswing, 어깨를 이용하여 바에 힘을 가해(pressing) 몸을 던지기 직전까지의 pullback과 체공기(airborne) 국면으로 구분되며(Kim, 1998), downswing, whipswing, 그리고 pullback의 국면 동작들은 순차적으로 이루어져야 한다. 이와 같이 Tkatchev 동작은 고난도의 비행 기술과 후속 연결 동작을 습득하는 데에 매우 유리한 기술이기 때문에 대부분의 우수 선수들은 이 기술을 반드시 수행할 수 있어야 한다(Kang et al., 2001). 현재 국내 대부분의 선수들이 Tkatchev 기술을 큰 무리 없이 수행할 정도로 기본 기술로 정착되어 가는 추세이고, 기술의 난이도가 D에서 C로 하향 조정되었다. 따라서 정확한 기본 기술 습득이 중요한 중고등학교 우수 선수들이 현재 이 기술을 수행

하고 있지만, 정작 이에 대한 연구는 부재하다. 또한 대부분의 국내 연구들은 경기상황이 아닌 실험상황을 분석하는데 그쳤고, 연구방법에서 후속 연결기를 언급한 부분은 없다.

본 연구는 제44회 문화체육관광부장관기 체조대회에 출전한 남자 중고등학교 우수 선수들의 Tkatchev 기술의 순간 동작 시점 간의 관계, 철봉에 작용하는 최대의 힘, 그 시점과 정점 높이 간의 관계, 그리고 순간 동작의 시점과 투사 높이 간의 관계를 규명하고자 연구의 목적을 두었다.

METHODS

1. 연구 대상자

제 44회 문화체육관광부 장관기 체조대회(2017. 8. 25~28) 철봉 단체종합경기에 Tkatchev 기술을 성공적으로 발휘하고 후속 동작을 연결시킨 남자 중고등학교 선수 8명을 연구대상으로 하였다. 나이는 15.3 ± 1.5 year, 키는 1.53 ± 0.07 m, 체질량은 49.3 ± 4.7 kg이며, 선수경력은 7.9 ± 1.5 year이고, 촬영 후 연구대상자에게 연구의 취지를 설명하였고 이에 대한 동의를 받았다.

2. 실험 및 측정

남자 철봉 종목의 경기장면을 촬영하기 위해 2대의 digital high speed camcorder (VFC-300), 40 cm 간격으로 통제점을 부착한 4개의 5.6 m의 control pole, 각도측정기(SOKKIA EZS21S)가 각각 사용되었다. Sampling rate를 90 frames/s로 설정하여 Tkatchev 기술을 촬영하였고, 모든 경기가 끝난 직후에 control pole을 촬영하고 통제점 각도를 각도측정기로 측정하였다. Global coordinate의 origin은 동작 수행의 철봉 왼쪽 끝으로 설정하고, 오른쪽 끝과의 연결 벡터를 X축으로, 진행 방향을 Y축으로 설정하였으며, 이에 대한 수직 방향을 Z축으로 설정하였다. 4번 연구대상자와 8번 연구대상자의 연기 방향은 반대로 이루어져 global coordinate를 반대로 뒤집어서 진행 방향을 Y축으로 일치시켰다.

3. 자료 처리

Tkatchev 기술의 독립된 자세를 취하기 전 5 frame부터 시작하여 손이 철봉을 잡고 동작을 완료한 후 5 frame까지의 18개 body landmark를 분석대상으로 하였다. Kwon3D 3.1 동작분석 프로그램을 사용하여 DLT 방식(Abdel-Aziz와 Karara, 1971)으로 위치 좌표를 산출하였고, BSP는 Hanavan-Kwon 자료를 사용하였다(Visol, 2005). 자료를 smoothing할 때의 cutoff frequency는 8.0 Hz로 하였다.

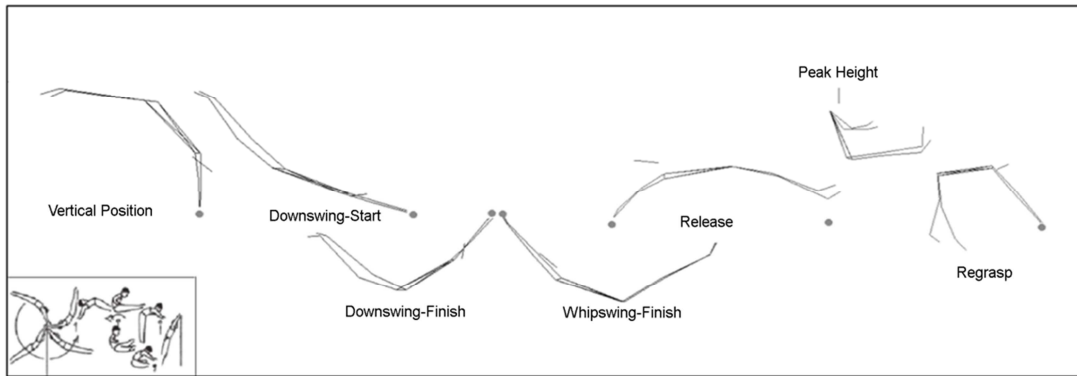


Figure 1. Consecutive instants during whole interval

본 연구의 구간은 흔들기 구간과 체공기 구간으로 구분되고, 각 구간은 다음과 같은 순간 동작으로 구성된다(Figure 1).

먼저 도립된 수직 자세(Vertical Position; VP)로 흔들기가 개시되고, 고관절 신전이 시작되는 Downswing-Start (DS), 고관절 신전이 최대가 되는 Downswing-Finish (DF), 고관절 굴곡이 최대가 되는 Whipswing-Finish (WF), 그리고 이수(Release; RL)하여 체공기가 시작되며, 신체중심의 높이가 가장 높은 정점(Peak Height; PH)을 통과한 후 최종적으로 착수(Regrasp; RG)를 하게 된다. 여기서 DS부터 DF까지를 Downswing Phase (DP), DF부터 WF까지를 Whipswing Phase (WP), WF부터 RL까지를 Pullback Phase (PP), RL부터 RG까지를 Airborne Phase (AP)로 설정하였고, 고관절 각도와 각속도를 산출하여 DS, DF, WF 시점을 지정하였다.

국면 별 소요시간을 산출하고 Tkatchev의 원운동을 사분원으로 나누어 순간 동작이 이루어지는 각 사분원에 대한 % 소요시간을 산출하였다. 즉, 제1사분원(1Q)에 대한 DS의 % 소요시간, 제2사분원(2Q)에 대한 DF의 % 소요시간, 제3사분원(3Q)에 대한 WF의 % 소요시간, 제4사분원(4Q)에 대한 RL과 PH의 % 소요시간을 산출하였다. 또한 흔들기 구간에서 마찰력을 제외한 철봉에 작용하는 최대의 힘을 추정하였는데 전신의 회전에 의한 구심성분($F_r = ma_r$)과 접선성분($F_t = ma_t$)을 먼저 산출하고, 이를 Y축과 Z축으로 축변환하여 그 resultant를 구하였으며, 그 시점의 % 소요시간을 제시하였다.

선수들의 신체중심의 이동 궤적을 하나의 패턴으로 제시하기 위해 전체 구간의 모든 국면을 일치시켜 신체중심의 Y, Z 좌표값을 100% normalization해서 ensemble 시켰고, 전체 구간(VP-RG)을 일치시켜 DS, DF, WF, RL, PH, RG % 소요시간을 시각화하였다. 또한 이수 순간 손으로 철봉에 힘을 가하는 자세를 밝히기 위한 견관절각(몸통과 상완 간의 각위)와 투사체 운동을 이해하기 위한 신체중심의 속도 및 위치를 산출하였다.

4. 통계 처리

본 연구의 변인들을 SPSS 18.0을 이용하여 descriptive statistics하였고, % 소요시간과 소요시간 간의 관계, 철봉에 작용하는 최대의 힘과 신체중심의 정점 높이와의 관계, % 소요시간, 견관절각과 신체중심의 이수 높이 간의 관계를 규명하기 위해 유의수준 .05에서 일방향 상관분석하였다.

RESULTS

1. 사분원 별 순간 동작의 % 소요시간과 국면 소요시간

사분원 별 순간 동작의 % 소요시간과 국면 소요시간은 (Table 1)과 같이 나타났다.

(Table 1)과 같이 downswing은 1Q의 $80 \pm 15\%$ 소요시간에서 시작하여 2Q의 $40 \pm 14\%$ 소요시간에서 종료되고, whipswing은 철봉 하단을 지나 3Q의 $59 \pm 21\%$ 소요시간에서 종료되는 것으로 나타났다. 이수는 4Q의 $30 \pm 7\%$ 소요시간에서, 그리고 신체중심의 높이가 최대가 되는 정점은 4Q의 $81 \pm 7\%$ 소요시간에서 나타났다. Downswing과 whipswing의 % 소요시간은 이수와 정점 % 소요시간에 비해 편차가 비교적 크게 나타났다. 그리고 도립 자세로부터 downswing 종료까지의 소요시간은 $.41 \pm .03$ s, whipswing 국면의 소요시간은 $.37 \pm .03$ s, pullback 국면의 소요시간은 $.27 \pm .03$ s, airborne 국면의 소요시간은 $.58 \pm .04$ s, 그리고 기술 전체의 소요시간은 $1.62 \pm .06$ s로 나타났다.

Downswing 시작과 종료, whipswing의 종료, 이수와 정점의 % 소요시간과 착수의 소요시간 간의 관계를 알아보기 위해 상관분석을 실시한 결과는 (Table 2)와 같이 나타났다.

(Table 2)와 같이 downswing 시작과 종료, whipswing 종료 그리고 이수 소요시간 간에는 높은 정적 상관이 나타나($r = .820$;

Table 1. Descriptive statistics about % lapse time at each instant and phasic lapse time

	% lapse time					Lapse time (s)					
	DS/1Q	DF/2Q	WF/3Q	RL/4Q	PH/4Q	RG/1Q	VP-DF	WP	PP	AP	Total
S1	93	59	78	31	80	.26	.41	.38	.24	.61	1.64
S2	73	32	53	23	77	.21	.40	.37	.25	.58	1.60
S3	88	56	57	32	86	.23	.39	.31	.29	.53	1.52
S4	100	51	83	42	78	.24	.46	.38	.25	.53	1.62
S5	71	43	78	33	84	.29	.41	.41	.24	.62	1.68
S6	82	32	58	26	87	.28	.42	.38	.26	.63	1.69
S7	50	18	24	17	85	.22	.39	.38	.30	.60	1.67
S8	79	30	36	33	67	.16	.36	.36	.32	.53	1.57
M	80	40	59	30	81	.24	.41	.37	.27	.58	1.62
SD	15	14	21	7	7	.04	.03	.03	.03	.04	.06

Table 2. Correlation among % lapse times and lapse time

	% lapse time					Lapse time	
	DS/1Q	DF/2Q	WF/3Q	RL/4Q	PH/4Q	RG/1Q	
Lapse % time	DS/VP	1	.820**	.727*	.819**	-.179	.152
	DF/HP		1	.804**	.702*	.110	.364
	WF/BB			1	.711*	.158	.654*
	RL/4Q				1	-.313	.095
	PH/4Q					1	.759*
Lapse time	RG/ZP						1

* $p < .05$, ** $p < .01$

$r = .727$; $r = .819$; $r = .804$; $r = .702$; $r = .711$), downswing 시작과 종료, whipswing 종료의 % 소요시간이 빠르면 이수 % 소요시간도 빠르고 늦으면 이수 소요시간도 늦는 것이 밝혀졌고, 신체중심 정점 % 소요시간과는 유의한 상관이 없었다($r = -.179$; $r = .110$; $r = .158$; $r = -.313$). 그리고 whipswing 종료와 신체중심 정점 % 소요시간과 착수 소요시간 간에는 정적 상관이 나타나($r = .654$; $r = .759$), whipswing 종료와 신체중심 정점 % 소요시간이 빠르면 착수 소요시간도 빠르고 늦으면 착수 소요시간이 증가하는 것으로 밝혀졌다($r = .654$; $r = .759$).

2. 신체중심 이동 궤적 패턴과 순간 동작 간의 관계

신체중심의 이동 궤적 패턴을 알아보기 위해 모든 국면들을 일치시켜 신체중심의 Y축과 Z축 위치 좌표를 ensemble하였고,

도립 자세로부터 착수까지의 전체 소요시간을 100% 시간으로 표준화하여 각 순간 동작을 도식화한 것은 (Figure 2)와 같다.

그림에서 나타난 것과 같이 신체중심의 이동 궤적 패턴은 관성 좌표계 원점인 철봉으로부터 오른쪽으로 움직여 11시 방향으로 쳐진 모습을 보였다. 그리고 2Q에서는 downswing의 기울기가 매우 가파른 것을 알 수 있고, 3Q에서는 급격한 하체의 움직임으로 pullback하여 이수하는 것을 알 수 있으며, 4Q에서는 신체중심의 정점이 Z축을 통과하기 직전에 나타났음을 알 수 있다.

3. 철봉에 작용하는 최대의 힘과 그 순간의 % 소요시간 및 전신의 각속도 · 각가속도

흔들기 구간에서 철봉에 작용하는 최대의 힘과 그 순간의 %

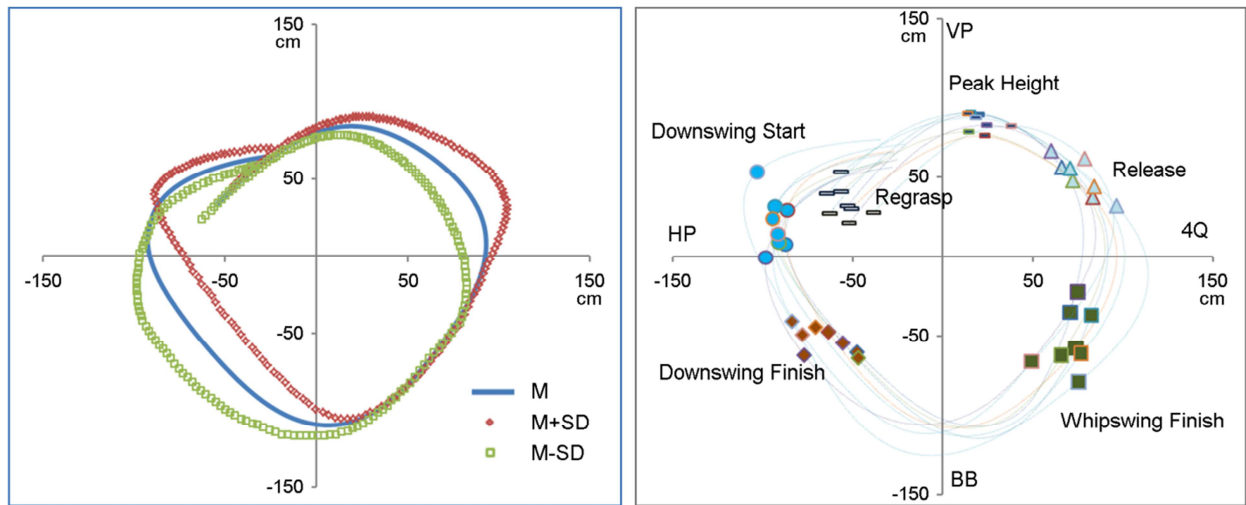


Figure 2. Pattern of body COG path (left) and timing of each instant (right) during whole interval

Table 3. Descriptive statistics about maximum forces, % lapse time and angular velocity · acceleration

	Maximum force (N)	Maximum force (BW)	% lapse time (2Q)	Whole body angular	
				Velocity (rad/s)	Acceleration (rad/s ²)
S1	2,487	5.3	136	6.4	-12.7
S2	1,778	3.7	90	5.8	-2.2
S3	1,864	4.2	112	5.8	-13.1
S4	1,911	4.5	111	6.1	-7.0
S5	2,586	5.3	117	6.0	-20.3
S6	2,692	5.5	100	6.3	-21.8
S7	2,873	5.0	53	6.5	.7
S8	2,071	4.2	83	6.0	6.4
M	2,283	4.7	100	6.1	-8.7
SD	425	.6	25	.3	10.0

소요시간 및 전신의 각속도·각가속도는 (Table 3)과 같이 나타났다.

(Table 3)과 같이 선수가 철봉에 작용하는 최대의 힘은 2,283 ± 425 N으로 추정되었고, 이는 4.7 ± .6 BW 정도인 것으로 산출되었다. 그리고 이 힘은 2Q 지점을 지나 3Q가 시작되는 철봉 하단 지점을 통과하는 시점(100 ± 25%)에서 기록되었다. 이 역시 선수들마다 편차가 비교적 크게 나타났다(Figure 3).

선수의 흔들기 동작 수행의 목표는 이수 후에 신체중심을 최대한으로 높이기 위한 것이므로 이에 대한 관계를 규명하기 위해 철봉에 작용하는 최대의 힘, 힘 산출에 이용된 전신의 각속

도와 신체중심의 정점 높이 간의 상관분석을 실시한 결과는 (Table 4)와 같이 나타났다.

(Table 4)와 같이 철봉에 작용하는 최대의 힘, 전신의 각속도와 신체중심 정점 높이 간에는 높은 정적 상관이나 나타나($r = .893$), 선수들은 철봉 하단을 통과할 때 전신의 각속도를 최대한으로 증가시켜서 철봉에 최대의 힘을 가하고 그 힘으로 몸을 띄워 체공 높이를 확보하는 것으로 밝혀졌다. 그리고 % 소요시간과 신체중심 정점 높이 간에는 유의한 상관이나 나타나지 않아($r = .177$) 최대의 힘이 발현되는 시점의 빠르고 늦음과 신체중심 정점의 높이와는 관련이 없는 것으로 밝혀졌다.

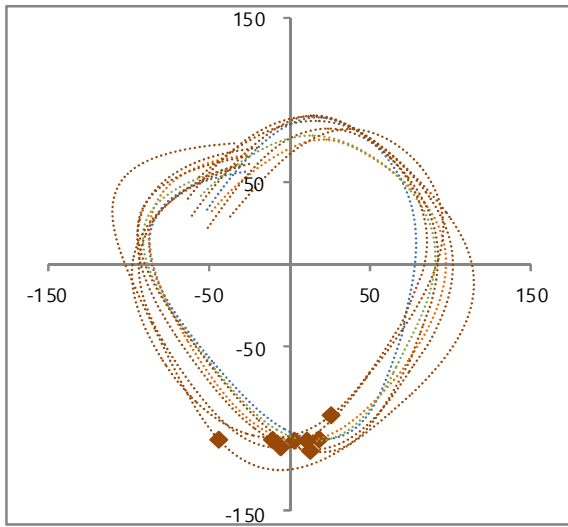


Figure 3. Instants of maximum forces acting on bar

4. 투사체 운동과 관련된 변인

이수 순간 투사체 운동과 관련된 신체중심의 속도 벡터와 위치 및 각도 등은(Table 5)와 같이 나타났다.

(Table 5)와 같이 이수 순간의 신체중심 속도 Y, Z 성분은 각각 $-2.14 \pm .29$ m/s, $2.70 \pm .43$ m/s로 나타났고, 이수 순간의 신체중심 높이는 $.49 \pm .12$ m, 체공 구간에서의 신체중심 정점의 높이는 $.84 \pm .06$ m, 착수 순간의 신체중심 높이는 $.32$

Table 4. Correlation among maximum force, % lapse time, whole body angular velocity and peak height

	Maximum force	% lapse time	Angular velocity	Peak height
Maximum force	1	-.210	.824**	.893**
% lapse time		1	-.185	.177
Angular velocity			1	.720*
Peak height				1

* $p < .05$, ** $p < .01$

$\pm .10$ m로 나타났으며, 이수 순간의 신체중심 투사각과 견관절각은 각각 51 ± 4 도, 139 ± 5 도로 나타났다.

위의 변인 중에서 정적 상관이 서로 높은 % 소요시간과 신체중심의 이수 높이, 그리고 이수 순간의 견관절각과 이수 높이 간의 관계를 상관분석을 실시한 결과는 (Table 6)과 같이 나타났다.

(Table 6)과 같이 downswing 시작 % 소요시간, whipswing 종료 % 소요시간, 이수 소요시간과 이수 높이 간에는 높은 정적 상관이 나타났으나($r = .744$; $r = .628$; $r = .935$), downswing 종료 % 소요시간과 이수 순간의 견관절각과는 유의한 상관이 나타나지 않았다($r = .587$; $r = .233$). 따라서 downswing 시작의 % 소요시간, whipswing 종료의 % 소요시간이 늦을수록, 그

Table 5. Descriptive statistics about variables of projectile motion during airborne interval

	Release velocity (m/s)		Release height (m)	Peak height (m)	Regrasp height (m)	Release velocity angle (deg)	Release shoulder angle (deg)
	Y	Z	Z	Z	Z	X	X
S1	-1.62	2.62	.56	.89	.30	58	145
S2	-2.19	2.85	.37	.76	.29	52	140
S3	-2.22	2.62	.45	.78	.40	50	136
S4	-1.96	2.06	.65	.82	.19	46	136
S5	-2.25	2.69	.54	.91	.26	50	132
S6	-2.29	3.04	.43	.90	.38	53	138
S7	-2.62	3.44	.30	.87	.52	53	137
S8	-1.99	2.29	.60	.82	.26	49	148
M	-2.14	2.70	.49	.84	.32	51	139
SD	.29	.43	.12	.06	.10	4	5

리고 이수 소요시간이 증가할수록 이수 높이도 높아지는 것으로 밝혀졌다.

Table 6. Correlation between % lapse time, shoulder angle and release height

	DS/1Q	DF/2Q	WF/3Q	RL/4Q	Shoulder angle
Release height	.744*	.587	.628*	.935**	.233

* $p < .05$, ** $p < .01$

DISCUSSION

Tkatchev 기술의 성공 요인은 충분한 구심력을 확보한 상태에서 빠른 흔들기를 수행하여 적당한 시점에서 전신을 투사시키되 안정된 다리벌려 자세로 붐을 넘겨 착수하여 다음 동작으로 연결시켜야 한다. 안정된 체공 동작의 기본은 충분한 공간 및 시간일 것이다. 그러므로 체공기에서 신체중심의 정점은 반드시 Z축을 통과하기 전에 이루어져야 하며, 이러한 투사체 움직임 궤도에 흔들기 구간의 순간 동작들의 시점이 영향을 미치게 된다. 동작을 수행하기 위해 도립된 자세로부터 대차돌기를 시작하되, 충분한 체중토크를 만드는 것이 전제되어야 한다. 흔들기 구간에서 고관절을 충분히 과신전시켜 빠른 하강 동작을 만드는 전신의 흔들기가 철봉 최저점을 통과한 후, 엉덩이를 강력하게 굴곡시켜서 어깨를 개방하여 만드는 전신이 볼록한 형태의 이수 동작이 중요하다(Hay, 1985). 이와 같이 뒤돌아 대차돌기(giant swing backward)의 흔들기가 투사체 움직임에 영향을 미치므로 본 연구는 흔들기 구간의 동작 시점의 % 소요시간들과 신체중심의 이수 높이 등 체공기 구간의 여러 변인들의 관계를 규명해 보고자 하였다.

(Table 1)에서 분석한 % 소요시간은 선행 연구에서 규명하지 않은 내용으로서 본 연구가 처음이다. Tkatchev의 기술연기 구간을 4분위 구간으로 세분화할 때 downswing의 시작의 % 소요시간이 제1사분위 시간의 80% 소요시간은 수평 자세(HP)에 가깝게 이루어지는 것이다. 이는 최대한의 체중 토크를 만들기 위해 회전반경을 크게 한 결과이다. 이후 제2사분위 시간의 약 40% 소요시간에서 downswing이 끝나고 바로 고관절의 굴곡이 급격히 이루어져 제3사분위 시간의 약 59% 시간에서 이수를 준비하고 있으며, 제4사분위 시간의 약 30% 시간에서 이수를 하고 있다. 본 연구의 Tkatchev 연기시간은 1.62 s 정도로 나타나 Back 등 (2010)의 1.69 s~1.77 s 보다 다소 짧게 나타났다. 같은 경기상황을 분석한 Lee와 Back (2006)의 1.54 s 보다는 다소 길게 나타났으며, 체공시간은 선행연구의 .7 s 보다 오히려 짧았다(.58 s). 본 연구대상자의 동작이 성공적이었

으므로 이는 체격 조건의 차이인 것으로 판단된다.

% 소요시간 및 소요시간 간의 상관분석의 결과인 (Table 2)와 이수 높이 간의 상관분석 결과인 (Table 6)을 연결시켜 보면, downswing의 시작은 가급적 제2사분위에서 늦게 수평위치 근처에서 만들어지는 것이 바람직하다고 판단된다. 왜냐하면 downswing이 수평위치 가까이에서 이루어지면 whipswing 종료가 지연되어 결국 이수 시점을 지연시킴으로써 이수 높이가 높아지기 때문이며 결국 Z축을 통과하여 착수하는 RG/1Q의 절대 시간을 증가시킴으로써 착수의 여유를 주기 때문이다.

Kopp과 Reid (1980)는 캐나다 국가대표팀의 뒤돌아 대차돌기 시 철봉에 가해지는 힘과 토크를 측정하였는데, 최대 힘은 선수 체중의 3.5배 정도라 하였고, Kunzle (1957)는 선수가 대차돌기 시 철봉 아래를 지날 때 그 구심력이 자기 체중의 4배에 달한다고 말하였으며, Cureton (1939)은 5배임을 밝힌 바 있다. 그리고 Sale과 Judd (1974) 그리고 Nissinen (1983)은 이와 유사한 링 흔들기 시에 자기 체중의 4.8~5.4배에서 6.5~9.2배의 힘이 링에 전달된다고 보고하였다. 국내 연구에서 Lee (1992)는 철봉 Endo 동작을 수행할 때 철봉 하단에서 자기 체중의 4.73배의 힘이 철봉에 작용한다고 밝혔는데 본 연구의 흔들기 각속도와 회전반경이 엔도 동작보다 빠르고 큰 것을 감안해 볼 때 영상분석을 통해 추정된 최대 힘 4.7 BW 값에는 보다 정확한 인체측정 자료가 필요하다고 판단된다.

투사체의 운동 궤적은 투사 높이, 투사 속도와 투사 각도에 의해 결정되고, 이 변인 중에서 흔들기 구간에서의 % 소요시간과 가장 관계가 깊은 것은 투사 높이이다. Youtube 자료를 보면 Tkatchev 기술 발휘 시 이수 시점이 빠르면 체공 중에 안정성을 확보하기 어렵다고 제시하므로 빠른 타이밍으로 철봉을 눌러 일찍 투사하는 것은 바람직하지 않다고 판단된다. 본 연구대상자의 체격 조건, 투사 높이 평균인 .49 m와 정점 높이 평균인 .84 m로 선수들의 Tkatchev 체공 동작을 가능해 볼 때, 흔들기 구간에서의 순간 동작 시점을 조절할 수 있다면 이수 높이 및 정점 높이에 변화를 줄 수 있는 가능성은 충분히 있다고 사료된다.

CONCLUSION

본 연구는 제44회 문화체육관광부장관기 체조대회에 출전한 남자 중고등학교 우수 선수들의 Tkatchev 기술의 순간 동작 시점 간의 관계, 철봉에 작용하는 최대의 힘, 그 시점과 정점 높이 간의 관계, 그리고 순간 동작의 시점과 투사 높이 간의 관계를 규명한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 중고등학교 우수 선수들의 Tkatchev 기술의 전체 연기 시간은 $1.62 \pm .06$ s로 나타났고, 특히 downswing의 시작은 제2사분위 시작위치인 수평면 가까운 것이 바람직하다.

둘째, 중고등학교 우수 선수들의 신체중심 이동 궤적은

downswing이 가파르고 이수를 위한 pullback으로 등근 원형이 오른쪽으로 움직이는 패턴을 보였고, 11시 방향으로 쳐진 모습이다.

셋째, 중고등학교 우수 선수들의 철봉에 작용하는 최대의 힘은 $2,283 \pm 425$ N로 추정되었는데, 이는 $4.7 \pm .6$ BW이며, 이 시점은 철봉 하단 부분이고 힘이 클수록 신체중심 정점의 높이를 높일 수 있다.

넷째, 중고등학교 우수 선수들의 이수 순간의 신체중심 속도의 수평성분과 수직성분은 각각 $-2.14 \pm .29$ m/s, $2.70 \pm .43$ m/s로 나타났고, 이수 시점이 지연될수록 이수 높이가 높아져 충분한 체공시간이 만들어짐으로써 안정적으로 착수할 수 있다.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was supported by the 2017 Research Fund of University of Ulsan.

REFERENCES

- Abdel-Aziz, Y. I. & Karara, H. M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. *Proceedings of the Symposium on Close-Range Photogrammetry*, 1-18. Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry.
- Back, J. H., Park, J. C. & Lee, Y. S. (2010). Improving evaluation of the Tkatchev motion by technical training program on the horizontal bar. *Korean Journal of Physical Education*, 49(2), 493-501.
- Back, J. H. & Son, W. I. (2008). A case study of Tkatchev stretched motion by technical feedback in horizontal bars. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 18(4), 77-87.
- Cureton, T. K. (1939). Elementary principles and techniques of cinematographic analysis. *Research Quarterly*, 10(2), 15-17.
- F. I. G. (2017). *Code of points for men's artistic gymnastics competitions at world championship, Olympic games, regional and international competitions events with international participants*. International Gymnastics Federation Men's Technical Committee.
- Hay, J. G. (1985). *The biomechanics of sports techniques*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ., 309-322.
- https://www.youtube.com/watch?v=XL6wxhTV_0Q
- Kang, S. Y., Park, J. J., Kim, C. W. & Choi, S. J. (2001). The kinematic analysis of the Tkatchev motion on the horizontal bar. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 11(1), 139-153.
- Kim, H. Y. (1996). *Analysis of Tkatchev motion on uneven bars and horizontal bar*. Unpublished Master's Thesis, Graduate School of Education of Dankook University.
- Kim, S. Y. (1998). *The kinematic analysis of the Tkatchev stretched motion on the horizontal bar*. Unpublished Master's Thesis, Graduate School of Korea National Sport University.
- Kopp, P. M. & Reid, J. G. (1980). A force and torque analysis of giant swings on the horizontal bar. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*, 5(2), 98-102.
- Kunzle, G. C. (1957). *Olympic gymnastics: Horizontal Bar*. James Barrie Books, Ltd., London, p142.
- Lee, C. H. (2007). Kinematical analysis of Tkatchev motion on the horizontal bar. *Korean Journal of Physical Education*, 46(3), 517-527.
- Lee, C. H. & Back, J. H. (2006). The kinematic analysis of the Tkatchev motion on the horizontal bar. *Korean Journal of Physical Education*, 45(2), 569-578.
- Lee, G. S. (1992). *A biomechanical analysis of the Endo motion on the horizontal bar*. Unpublished Doctor's Dissertation, Graduate School of Kookmin University.
- Nissinen, M. A. (1983). *Kinematic and kinetic analysis of the giant swing on the rings*. Biomechanics, 7B, Champaign, Illinois: Human Kinetics, 781-786.
- Sale, D. G. & Judd, R. L. (1974). Dynamometric instrumentation of the rings for analysis of gymnastic movements. *Medicine and Science in Sports*, 6, 209-216.
- Visol (2005). Kwon3d motion analysis package version 3.1 User's reference manual. Seoul, Visol.
- https://www.youtube.com/watch?v=XL6wxhTV_0Q