스피드 스케이팅 선수에 대한 스타트와 글라이딩 기술의 운동학적 측면

Kinematical Aspects Gliding Technique in 500-m Speed Skaters: From Start to Seven Strokes,

Jae Kyun Ryu[1], Young Suk Kim[2], Sung Hong Hong[2]

[1] Department of Coaching, Kyunghee University, Yong-in, South Korea

[2] Department of Physical Education, Graduate School of Kyunghee University, Yong-in, South Korea

Corresponding author

Jae Kyun Ryu, Ph.D.

Professor

Department of Coaching

University of Kyunghee

1732, Deogyeong-daero, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 17104, Republic of Korea

Phone: 010.3781.4165, Email: ryu69kor@khu.ac.kr

Acknowledgements

This research was supported by sports scientification of Convergent R&D Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning (NRF-2014M3C1B1033324).

Abstract

Objective: The purpose of this study was to assess the consistency of gliding and push-off motion for single leg skating from the start to the fourteenth steps. Problems of the study were 1) no difference of stroke trajectory, step rate, and cycle rate will be observed between left and right of gliding, 2) there will be difference the resultant velocity of toe push-off and the horizontal velocity of center of mass after six steps.

Method: The subjects of the study were five male's 500 m speed skaters(height: 1.80±0.02 m, weight: 76.8±3.96 kg, records: 35.83±0.30 sec, 100 m record: under 9.97 sec). Collected data from start to fourteenth step (40 m) were recorded with five digital JVC GR-HD1KR(Victor Co., Japan) video cameras, operating at a sampling frequency of 60 fields/sec with the shutter speed 1/500 sec. For each film frame, the joint positons were digitized by utilizing the KWON3D motion analyzer. Position data were filtered with low-pass Butterworth 4th order at the cut-off frequency 7.4 Hz.

Results: The right toe of skating trajectories at 2nd, 5th and 7th were different from the left toe of skating trajectories. The angles of right and left knee were unbalanced pattern at the flexion and extension legs. The step and cycle rates of right and left leg were different each other from start until 20 m. The resultant velocities of the toe at the push-off phase and of the body mass center were diverged before about sixth push-offs.

Conclusion: This study indicates that toe of skating trajectory on left and right sliding after push-off needs to be taken with a form of symmetrical trajectory. The resultant velocity of toe push-off and horizontal velocity of center of body need to be separate after 6 steps push-off.

Keywords: Gliding, Push-off, Stroke trajectory, Step rate, Cycle rate

Introduction

스피드 스케이팅 종목의 최종목표는 가능한 최단 시간에 정해진 거리를 완주하는 것이다. 이러한 목표를 달성하기 위해서 400 m 트랙에서 선수 개개인이 가지고 있는 에너지발현 능력의 분배가 필요하다(Muehlbauer, Schindler & Panzer, 2010). 스피드 스케이팅 종목 중 중·장거리 경기들은 빠른 출발 보다는 400 m 트랙의 활주 페이스 전략이 경기력에 큰 영향을 미치고(Hettinga, De Koning, Schmidt, Wind, MacIntosh & Foster, 2011), 스프린트 종목인 500 m 는 폭발적인 파워, 스피드와 함께 빠른 출발과 피니쉬 라인까지 전력을 다하는 것이 중요하다고 하였다(Lee & Back, 2005; Park & Lee, 2007; Muehlbauer et al., 2010).

De Boer 과 Nilsen (1989)는 스피드 스케이팅에서 가장 중요한 기술적인 변인이 선수의 스케이팅 자세, 푸쉬 오프 각도 및 스트로크 빈도와 거리라고 하였고, 이들 변인 중 스케이팅 자세는 빙판 위에서 최소 마찰력 손실과 최대 파워 산출 사이의 균형을 만들어 내는데 중요한 역할을 한다고 하였다. 또한 푸쉬 오프 각도는 스트로크 당 행한 일의 양을 결정하는 변인이라고 하였고, 스트로크 빈도는 주로 스피드를 조절하는데 사용된다고 하였다. 곡선주로에서의 스트로크 빈도는 스피드, 스트로크 당 행한 일 및 곡선 반경에 따라 빈도의 제약을 받지만 직선 주로에서는 스케이팅 선수들에 의해 자유롭게 빈도를 조절할 수 있다고 하였다.

스피드 스케이팅에서는 활주 기술에 의한 스피드 발현을 위하여 신체 자세 중 푸쉬 오프 각과 스트로크 빈도 및 사이클 율이 경기력에 영향을 미치는 변인들로 가장 주목을 받고 있다. 역학적 측면에서 자세 위주의 경기력 향상의 초점은 직선과 곡선주로 및 출발자세이며 특히 출발자세에서의 가속은 기록 단축을 가장 용이하게 할 수 있는 구간이라고 할 수 있다(Shin & Back, 1996; Back, Kwak & Chung, 2004). 스피드 스케이팅의 출발 자세는 육상의 스탠딩 스타트 동작과 유사하지만 출발 신호 후 스케이팅 동작은 런닝(running-like)과 푸쉬 오프 기술을 혼합하여 사용하고 있다. 이 동작은 출발선에서 10 스텝 동안 나타나고 이후에는 정상적인 글라이딩 푸쉬

오프 기술을 사용하여 활주한다. 따라서 스케이팅 선수들은 이 10 스텝 동안에 자연스럽게 최고의 속도로 전환할 수 있는 조건을 만들어야 한다. De Koning, Thomas, Berger, Groot 와 Ingen Schenau (1995)는 선수가 스케이팅할 때 푸쉬 오프 하는 발이 빙판 위의 어느 한 고정된 점에 가능한 오랫동안 지지하면서 신체를 전방으로 밀면, 운동방향과 반대 방향인 푸쉬 오프 하는 다리의 발끝(toe)의 y 방향에 대한 신전 (extension)과 회전(rotation)의 합성속도와 신체무게중심의 y 방향(수평)속도는 동일하다고 하였고, 이후 스케이팅하는 선수가 더욱 글라이딩 기술에 의존할 때 이 두 속도는 차이를 나타내면서 분리되기 시작한다고 하였다. 이러한 현상이 일어나는 시점은 평균 속도가 6.7±0.3 m/s 일 때이며 대체로 6 스텝 푸쉬 오프 이후에 나타난다고 하였다.

Olson (2007)에 의하면, 스케이팅의 스피드는 스케이트 블레이드에 수직으로 작용하는 힘에 의하여 발생되며, 스프린트 스케이팅 선수들은 출발선에서 스케이트 블레이드를 정지 상태로 고정시켜 놓고 출발하기 때문에 스케이트를 거의 90°로 회전시켜 놓고 푸쉬 오프를 한다. 출발동작에서 글라이딩이 없기 때문에 가속을 얻기 위해서는 스트라이드 거리와 스트라이드 빈도에 의존할 수밖에 없으며 이러한 동작을 임펄스 푸쉬(impulse push)라고 하며 푸쉬를 빠르게 하면 할수록 선수는 더 빠르게 속도를 높일 수 있다. 따라서 스프린트 스트로크는 스트라이드 거리와 빈도와 관련이 있을 것이며, 선수는 스피드를 높이기 위하여 스트로크 어느 한 시점을 통하여 스케이트를 글라이딩 하여야 할 것이다. 다시 말해서 선수는 빙판에 글라이딩 하는 스케이트를 일정 시간 동안 누르는 압력을 증가시킬 수 있는 기술을 갖추고 있어야 하며, 이 시간이 길수록 최대의 압력을 빙판에 가할 수 있다. 결과적으로 빙판을 누르는 이 압력은 가속도의 증가를 낳는다. 하지만 스프린트 스케이팅에서 임펄스 푸쉬는 속도가 증가하는 동안에 가속도의 증가를 이끌어 낼 수 없다. 그러므로 스프린트 스케이팅 선수들은 출발선에서 출발하여 단시간 내에 최고의 속도와 가속도를 증가시키기 위해서는 스트로크 당 더 긴 시간 동안에 빙판에 압력을 가할 수 있는 기술을 배워야 할 것이다.

스프린트 스케이팅 출발자세에서 한쪽 스케이트에 부하나 압력을 가하여 신체를 가속시키는 싱글 레그(single-leg) 스케이팅은 짧은 시간에 큰 움직임을 발생시켜 글라이딩에서 신체의 속도를 증가시킬 수 있는 가장 효율적인 스케이팅 기술이라고 할 수 있다(Olson, 2007). 출발자세에서 스피드 스케이팅의 추진력 있는 글라이딩 자세로 전환하기 위해서는 스트라이드 빈도와 스트라이드 거리 간 효율적인 콤비네이션이 이루어져야만 짧은 시간 내에 최대의 속도에 도달할 수 있다. 따라서 전방으로의 활주 속도와 거리의 이득은 스트라이드 빈도와 스트라이드 거리 간 콤비네이션으로 스피드 스케이팅 선수들에게 매우 중요한 기술적 정보이며 결과적으로 경기력 향상과 이어지기에 이에 대한 연구가 필요하다고 하겠다.

이 연구의 목적은 출발에서 14 스텝(7 스트로크)까지 싱글 레그(single-leg) 스케이팅 자세의 좌·우 글라이딩과 푸쉬 오프 동작의 일관성을 조사하는 것이다. 이를 위해 다음과 같은 연구 문제를 설정하였다. 첫째, 인체 무게중심의 이동 궤적을 중심으로 푸쉬 오프 이후 좌·우 글라이딩 하는 발의 스트로크 궤적의 대칭 상태와 푸쉬 오프 하는 다리의 스텝 율과 사이클 율이 좌우 동작에서 차이가 있는가? 둘째, 푸쉬 오프 하는 발끝의 합성속도와 신체무게중심의 수평속도 차이가 나타나는 시점이 어디인가?

Method

1. Participants

2016 년 한국실업빙상경기연맹 회장배 스피드스케이팅 대회, 제 49 회 전국 남녀 대학대항 스피드스케이팅 대회 500 m 종목에 참가한 남자 선수들 중 기록이 37.39 sec 이하이며, 100 m 기록이 9.97 sec 이하인 선수를 연구 대상자로 선정하였다. 선정된 선수는 일반 3 명, 대학생 2 명으로 총 5 명을 선정하여 분석하였다. 참여한 선수들의 신체적 특성은 신장 1.80±0.02 m, 체중 76.8±3.96 kg, 기록 35.83±0.30 sec 였다.

2. Measurements

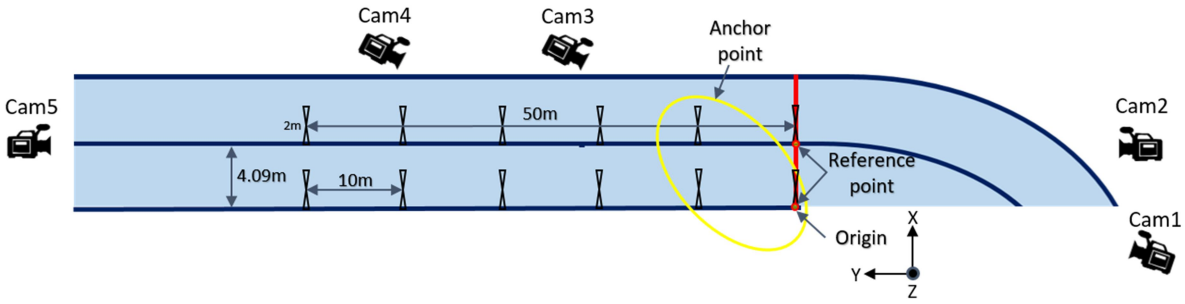

Figure 1. Overview of the experimental set-up.

이 연구는 스피드 스케이팅 스타트 라인에서부터 7 스트로크까지 수행되는 직선 40 m 구간을 분석에 사용하였다. JVC 비디오카메라 5 대(GR-HD1KR)를 관중석에 설치하였으며, 카메라의 촬영 속도는 60 fields/sec 로 셔터 스피드는 1/500 sec 설정하였다. <Figure 1>과 같이, 실 공간좌표 설정을 위하여 출발선에서부터 2 m range pole 10 개를 2 개의 트랙 라인을 따라 10 m 간격으로 총 50 m 설치하였으며 촬영 후 제거하였고, 2 개의 참조 마크(reference mark)는 X 축과 평행한 출발선 상에 표시하여 카메라의 오리엔테이션 각을 계산하였다. 28 개의 통제점을 디지타이징 한 재구성 오차는 0.02 m 의 측정오차를 보였다. 5 대의 카메라 중 2 대의 카메라는 운동방향과 평행하게 설치하고 하나의 카메라로 촬영된 영상같이 한 공간좌표로 산출하기 위하여 두 대 카메라에서 촬영되는 영상이 서로 겹치는 부분에 anchor point 를 사용하였다. 이러한 촬영기법은 넓은 촬영공간에서 피사체의 상을 크게 촬영하기 위한 방법이다. 3 차원 위치 좌표 값을 산출하기 위해 전역좌표계는 좌·우방향을 X 축, 운동방향을 Y 축 그리고 수직방향을 Z 축으로 정의하였다. 카메라들에 대한 동조는 출발에서 14 스텝(7 스트로크)중 4 개의 시점을 동조시점으로 설정하여 Kwon3D Version 3.1 프로그램에 내장되어 있는 perform software gen-lock 기능을 이용하여 동조시켰다.

Range pole 의 3 차원 공간좌표는 Abdel-Aziz 와 Karara (1971)의 DLT(direct linear transformation)방법을 사용하였고, 촬영된 영상에서 20 개의 각 관절 3 차원 위치 좌표 값은 Kwon3D Version 3.1 프로그램을 통해 디지타이징 되었다. 연구 대상자의 운동학적 변인들은 Plagenhoef (1983)의 인체분절지수자료를 활용하여 산출하였다. 3 차원 위치 좌표에 포함되어 있는 디지타이징 오차와 장비 자체에서 발생되는 노이즈는 Butterworth 4 차 저역 통과 필터(low-pass filter)방법으로 스무딩(smoothing)하였고, 이때 차단 주파수는 7.4 Hz 로 설정하였다.

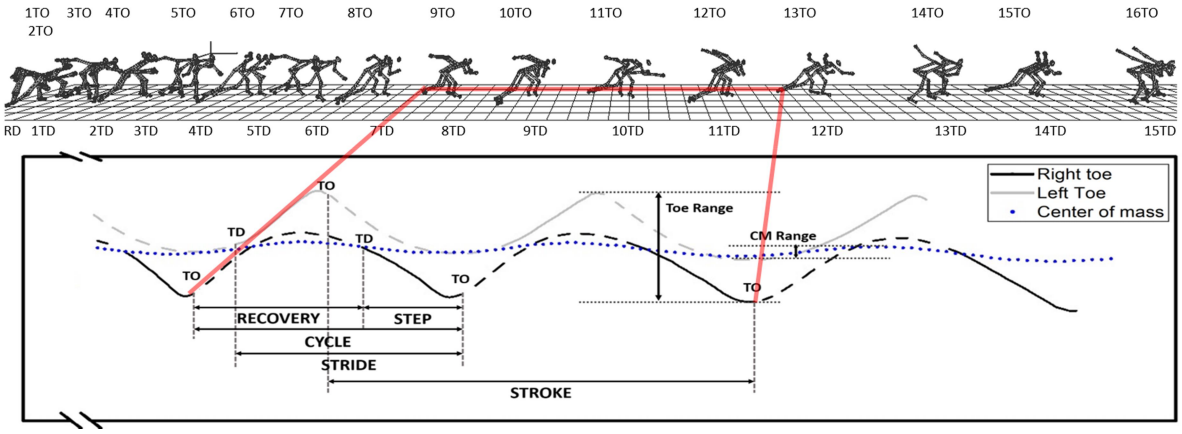

Figure 2. The Kinematic variables of phases(step, cycle, stride, stroke) and events(RD; ready, TO; takeoff, TD; touchdown). Plot of the toes(left; grey line, right; black lines) and trajectory of mass center(blue dotted line). The solid lines of the curves are the period of ice contact.

3. Data processing

<Figure 2>에 제시된 것과 같이, 이 연구에서의 분석 구간은 스타트에서 14 스텝(7 스트로크)이 수행되는 직선 40 m 구간으로 스타트의 시작은 출발선에서 선수가 움직이기 시작한 시점으로 정의하였다. 분석을 용이하게 하기 위하여 이벤트와 국면은 스타트 준비(RD; ready)자세 이후 이지(TO; takeoff)와 접지(TD; touchdown)로 각각 16 개씩 총 32 개의 이벤트로 구분하였으며, 14 개의 글라이딩 국면과 14 개의 cycle 국면으로 총 28 개의 국면을 설정하였다. 국면의 정의는 다음과 같다. 스텝(Step): 한 발이 빙판에 닿아 글라이딩 하는 구간(동일한 발 TD 에서 TO 까지). 사이클(cycle): 한 발이 빙판으로부터 떨어져 리커버리 후 글라이딩 하는 구간 (동일한 발 TO 에서 TO 까지). 스트라이드(stride): 좌·우 양 발의 스텝으로 한 발 글라이딩 후 반대 발 글라이딩까지 (왼발 TD 에서 오른발 TO 까지). 스트로크(stroke): 좌·우 양 발의 사이클(왼발 TO 이후 오른발이 두 번 TO 될 때까지). 이 연구에서 분석된 변인은 스타트 이후 7 스트로크의 신체무게중심 위치와 속도, 스텝 거리(step distance), 스트라이드 거리(stride distance), 신체무게중심과 발끝의 범위, 스텝 빈도(step frequency), 스트라이드 빈도(stride frequency), 스텝 율(step rate), 스트라이드 율(stride rate), 사이클 율(cycle rate), 상체(trunk)와 무릎(knee)관절의 각 그리고 푸쉬 오프각을 산출하였다.

Results

Table 1. Selected kinematic variables: records, step and stride frequency, step rate, stride rate and average velocity from the start to 100 m during man's 500 m race

Subjects	Record (sec)		Frequency		Rate(Hz)		CM velocity (m/s)	distance/ step(m)	distance/ stride(m)
	500m	100m	step	stride	step	stride			
A	35.57	9.78	29	14.5	2.97	1.48	10.22	3.45	6.90
B	35.59	9.94	29	14.5	2.92	1.46	10.06	3.45	6.90
C	35.72	9.83	27	13.5	2.75	1.37	10.17	3.70	7.41
D	36.02	9.97	28	14.0	2.81	1.40	10.03	3.57	7.14
E	36.27	9.97	27	13.5	2.71	1.35	10.03	3.70	7.41

이 연구에서 500 m 스피드 스케이팅의 100 m 기록은 전체 기록의 28%를 차지하고 있으며, 대상자들의 경기력이 높을수록 100 m 소요시간이 작고 평균속도가 높은 것을 알 수 있다. 그러나 스텝과 스트라이드 빈도가 높다고 경기력이 뛰어나고, 100 m 소요시간이 작은 것으로 나타나지 않았지만 스텝 율과 스트라이드 율은 높게 나타났다. 또한 스텝 당 이동한 평균 거리와 스트라이드 당 이동한 평균 거리는 짧아지는 것으로 나타났다.

Table 2. Selected kinematic variables: time, distance, step and stride rate and average velocity during seven strokes (fourteen steps)

Subjects	Time(sec)		Distance(m)		CM Velocity(m/s)		Rate(Hz)	
	7 strokes	after 7 strokes	7 strokes	after 7 strokes	7 strokes	after 7 strokes	step	stride
A	4.27	5.51	31.38	68.62	7.33	12.48	3.28	1.64
B	4.15	5.79	30.03	69.97	7.21	12.13	3.37	1.69
C	4.67	5.16	35.49	64.51	7.61	12.51	3.00	1.50
D	4.02	5.95	26.94	73.06	6.76	12.29	3.48	1.74
E	4.83	5.14	37.05	62.95	7.50	12.28	2.90	1.45

<Table 2>는 14 스텝(7 스트로크)을 수행하는 동안에 일어나는 운동학적 변인들로서 소요시간이 길고 신체무게중심의 평균속도가 높을수록 7 스트로크 동안에 이동한 거리가 길어지는 것으로 나타났다. 그러나 스텝 율과 스트라이드 율은 낮아지는 것으로 나타났다. 대상자 D 는 스텝 율과 스트라이드 율이 높으나 7 스트로크 동안에 이동한 거리가 지나치게 짧게 나타났다.

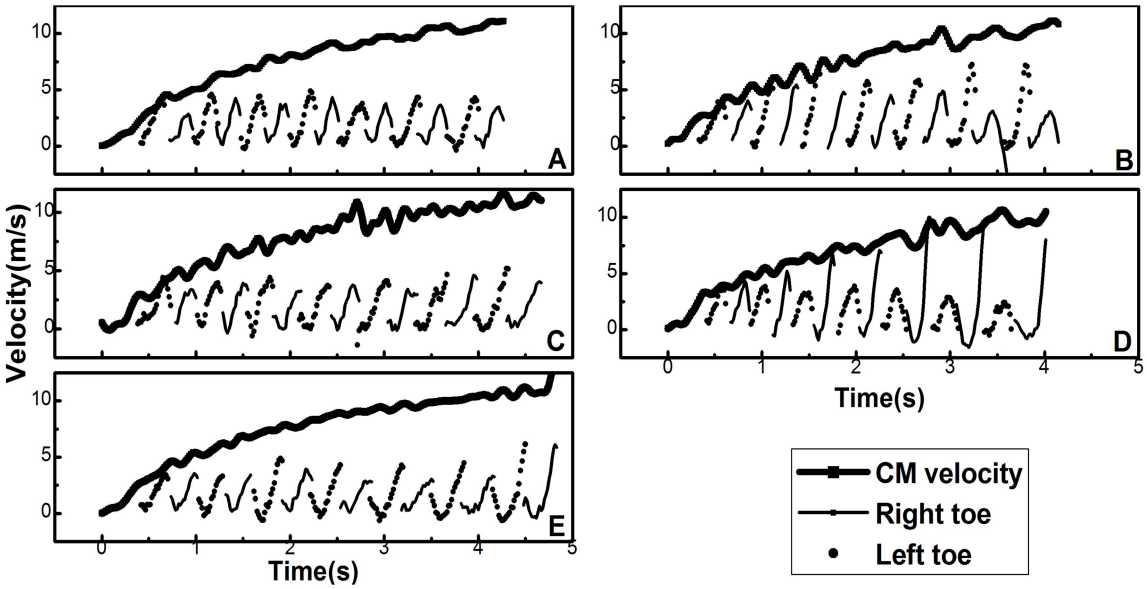

Figure 3. The horizontal velocity of the center of mass (solid line), compared with toe velocity of Y-direction (solid dot and dotted line) of both legs. Curves of toe velocity of Y-direction are drawn for the periods of ice contact. Note that the sign of toe velocity of Y-direction has been reversed to make a backward motion be positive.

<Figure 3>은 신체무게중심의 수평속도와 글라이딩 하여 푸쉬 오프 하기 전까지 발끝의 합성속도를 비교한 것으로 대상자 B 는 5 스텝 이후에 두 속도가 분리되는 것으로 나타났다. 대상자 A, C 그리고 E 는 1 스텝 이후에 분리되는 것으로 나타났다. 대상자 D 는 2 스텝 이후 왼쪽 다리만 분리되고 오른쪽은 6 스텝(오른쪽만 카운트) 이후에 분리되는 것으로 나타났다.

Table 3. 0-10 m split data: time, step frequency, distance per step and stride, step distance per height, right and left cycle rate and max CM velocity

0-10m	Time (s)	Step frequency	distance/ step (m)	Step distance/ height(%)	distance/ stride (m)	Cycle rate(Hz)		max CM Velocity (m/s)
						Right leg	Left leg	
A	2.07	6.3	1.59	89	3.13	2.66	2.32	8.05
B	2.08	6.7	1.49	83	2.94	2.87	2.56	8.08
C	2.08	5.9	1.69	94	3.45	2.40	2.11	8.13
D	2.13	7.5	1.33	74	2.70	2.86	2.55	6.98
E	2.12	5.7	1.75	95	3.45	2.15	1.86	7.75

<Table 3>을 보면, 출발 이후 10 m 까지의 소요시간은 100 m 구간에서 소요되는 시간의 21%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 그리고 신체무게중심의 최고속도는 대상자 A 와 B 처럼 스텝 빈도와 좌·우 다리의 사이클 율이 높거나 대상자 C 처럼 스텝 빈도와 좌·우 다리의 사이클 율이 다소 낮지만 스텝당 거리가 길어야 8 m/s 이상이 되는 것으로 나타났다. 그러나 스텝 빈도와 좌·우 다리의 사이클 율이 높은 대상자 D 는 이 구간에서의

소요시간이 작지 않았고, 신체무게중심의 최고속도도 8 m/s 이하로 낮게 나타났다. 이는 스텝 당 이동한 거리의 차로서 신장대비 이동한 거리의 비율 83% 이상 일 때 나타났다. 좌·우 다리의 사이클 율은 우측이 좌측보다 높게 나타났다.

Table 4. 10-20 m split data: time, step frequency, distance per step and stride, step distance per height, right and left cycle rate and max CM velocity

10-20m	Time (s)	Step frequency	distance/ step (m)	Step distance/ height(%)	distance/ stride (m)	Cycle rate(Hz)		max CM Velocity (m/s)
						Right leg	Left leg	
A	1.12	4.1	2.44	137	6.25	1.85	1.82	9.48
B	1.09	3.9	2.56	143	5.88	2.02	1.86	9.24
C	1.13	3.7	2.70	151	6.25	1.82	1.71	10.17
D	1.19	4.4	2.27	126	5.00	2.28	2.04	8.98
E	1.09	3.5	2.86	155	6.67	1.65	1.57	9.77

<Table 4>를 보면, 10 m 에서 20 m 까지의 소요시간은 100 m 구간에서 소요되는 시간의 11%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 신체무게중심의 최고속도는 대상자 C 와 E 처럼 스텝 빈도가 3.7 이하 그리고 좌·우 다리의 사이클 율이 1.82 Hz 이하로 낮아야 9.77 m/s 이상이 되는 것으로 나타났다. 그러나 이 구간도 첫 10 m 구간과 같이 스텝 빈도와 좌·우 다리의 사이클 율이 높다고 이 구간에서의 소요시간이 작아지지 않았고, 신체무게중심의 최고속도도 9 m/s 이하로 낮게 나타났다(대상자 D). 이 또한 스텝 당 이동한 거리의 차로서 신장대비 이동한 거리의 비율이 151% 이상 일 때 나타났다. 이 구간에서도 좌·우 다리의 사이클 율은 우측이 좌측보다 높게 나타났다.

Table 5. 20-30 m split data: time, step frequency, distance per step and stride, step distance per height, right and left cycle rate and max CM velocity

20-30m	Time (s)	Step frequency	distance/ step (m)	Step distance/ height(%)	distance/ stride (m)	Cycle rate(Hz)		max CM Velocity (m/s)
						Right leg	Left leg	
A	0.98	3.4	2.94	165	6.25	1.81	1.73	11.06
B	0.96	3.3	3.03	169	5.88	1.85	1.91	11.12
C	0.97	3.1	3.23	180	6.25	1.57	1.57	10.82
D	0.97	3.2	3.13	174	5.00	1.81	1.86	10.75
E	0.97	3.0	3.33	181	6.67	1.50	1.51	10.44

<Table 5>를 보면, 20 m 에서 30 m 까지의 소요시간은 100 m 구간에서 소요되는 시간의 10%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이 구간에서는 스텝 빈도가 낮고 좌·우 다리의 사이클 율 차이가 작은 경우 소요시간이 작아지는 것으로 나타났다. 그러나 신체무게중심의 최고속도는 대상자 B 와 A 순으로 스텝 빈도가 3.3 이상이면서 좌·우 다리의 사이클 율이 1.73 Hz 이상으로 높아야 11.06 m/s 이상이 되는 것으로 나타났다. 이 역시 스텝 당 이동한 거리의 차로서 신장대비 이동한 거리의 비율이 169% 이하 일 때 나타나고, 지나친 스텝 당 거리가 속도의 손실을 가져오는 것으로 나타났다. 좌·우 다리의 사이클 율은 우측과 좌측의 차이가 작아지면서 거의 동일한 비율이 나타났다.

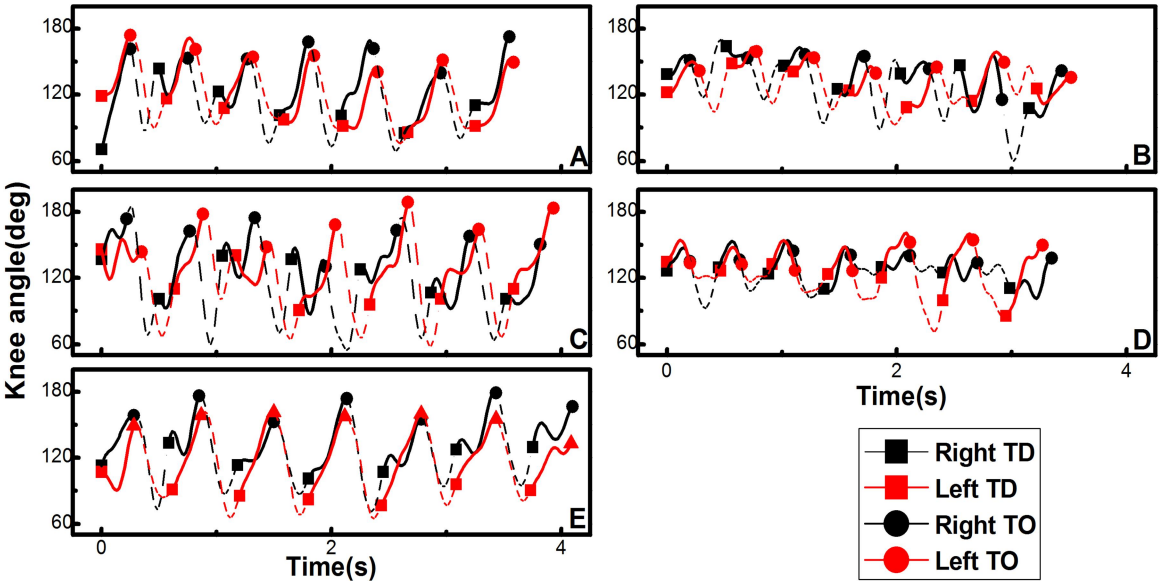

Figure 4. The overlapped right and left knee angle during seven stroke. Note that the sign of marks above curves are the instant of takeoff and touchdown.

<Figure 4>는 7 스트로크 동안에 좌·우 무릎각을 비교하기 위하여 오버랩 한 것으로서 대상자 E를 제외하고 모든 대상자가 왼쪽 무릎각이 오른쪽 무릎각 보다 더 크게 신전 되는 것으로 나타났다. 무릎각의 좌·우 굴곡과 신전의 패턴은 대상자 A와 E가 유사한 패턴 유형이 나타났고, 나머지 대상자 중 B와 D는 초반부에서 어느 정도 일관성을 보이다가 후반부에서 불균형의 패턴 유형을 나타냈다. 그러나 대상자 C는 대상자 B와 D와는 반대의 불균형의 패턴 유형을 나타냈다.

Table 6. Selected kinematic variables: distance of the step and stride, width of the CM and toe during the gliding, trunk angle and push-off angle in the 2nd, 5th and 7th stroke

stroke	subjects	Distance(m)			Width(m)		Angle(deg.)			
		Step(L/R)		Stride	CM	Toe	Trunk(L/R)		Push-off(L/R)	
2nd stroke	A	0.45	0.78	2.09	0.14	0.99	40	44	65	63
	B	0.18	0.15	1.72	0.24	0.74	44	40	73	69
	C	0.50	0.86	2.43	0.10	1.15	39	54	62	65
	D	0.27	0.17	1.58	0.12	0.77	50	53	82	64
	E	0.60	0.95	2.48	0.19	1.00	37	35	63	62
5th stroke	A	1.78	1.96	4.47	0.12	1.19	29	26	54	59
	B	1.35	1.45	4.06	0.26	0.97	25	27	62	59
	C	2.29	2.25	5.32	0.10	1.27	38	39	54	54
	D	1.31	0.93	3.26	0.12	1.03	44	38	66	60
	E	2.44	2.49	5.52	0.19	1.34	24	25	51	53
7th stroke	A	2.53	2.51	5.50	0.16	1.28	24	24	50	53
	B	1.79	2.51	5.31	0.17	1.18	23	21	55	51
	C	2.95	3.12	6.74	0.14	1.43	22	17	47	51
	D	2.59	2.80	5.75	0.19	1.57	32	32	47	46
	E	2.92	3.09	6.59	0.14	1.39	28	22	51	51

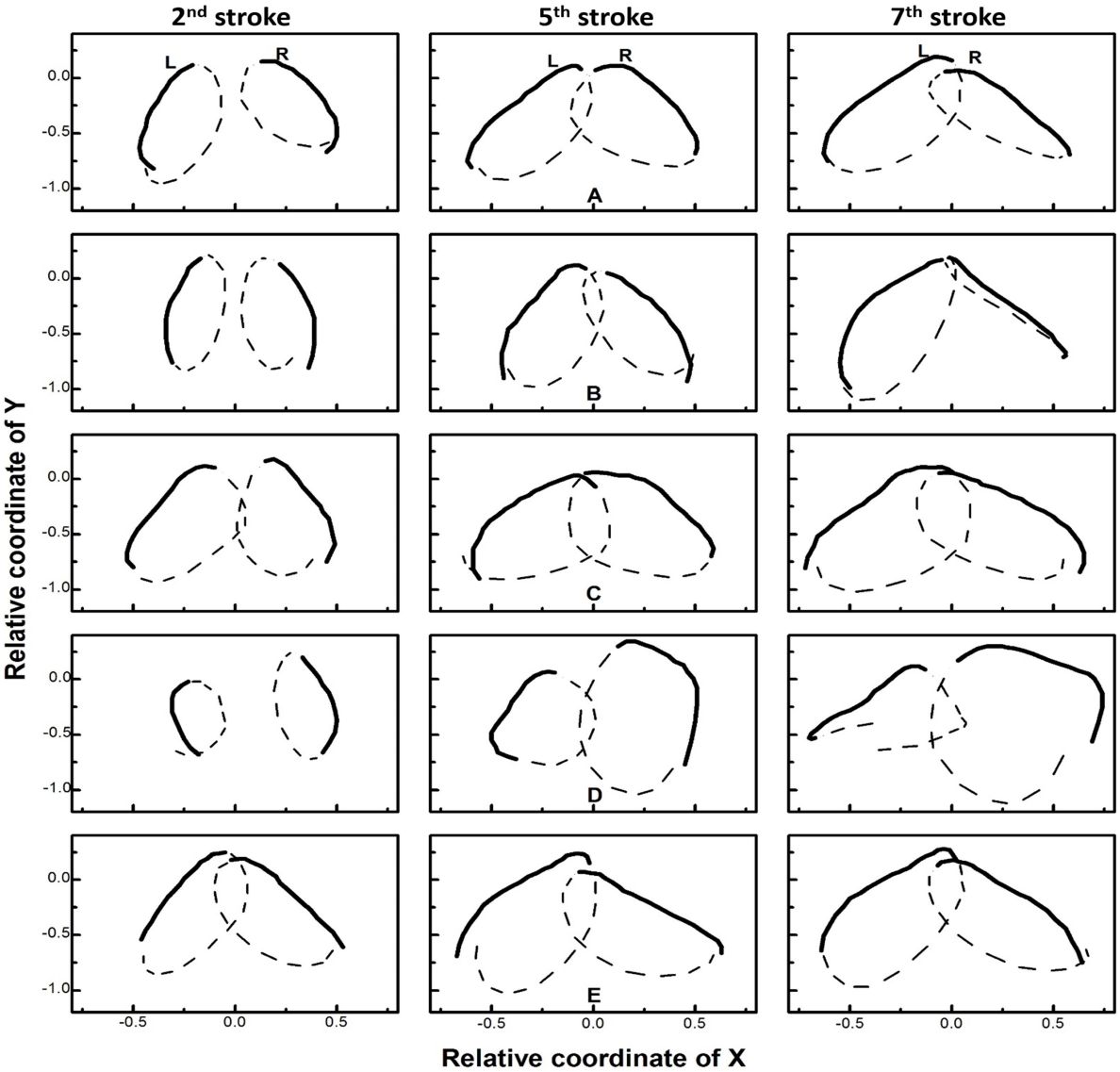

Figure 5. The position of the front end of the toe relative to the center of mass during the 2nd, 5th and 7th stroke. The sold parts of the curves are the period of ice contact.

〈Table 6〉과 〈Figure 5〉를 보면, 좌·우 스텝 거리와 스트라이드 거리는 스트로크가 진행되면서 길어지는 것으로 나타났고, 좌·우 스텝 거리의 차이는 점차적으로 줄어드는 것으로 나타났다. 상체 전경각과 푸쉬 오프 각도도 점차적으로 작아지는 것으로 나타났다. 그러나 신체무게중심의 좌·우 이동 범위는 스트로크가 진행되어도 평균 0.16 m 범위 내에서 거의 일정하게 움직이는 것으로 나타났다. 좌·우 발끝의 범위는 상체 전경각 기울기와 푸쉬 오프 각이 작으면 폭의 범위가 넓어지는 것으로 나타났다.

2nd 스트로크의 좌·우 스텝 거리는 모든 대상자들에서 차이를 보였고〈Table 6〉, 좌·우 2nd 스트로크 궤적 모양이 대칭적으로 나타나지 않았다. 그리고 대상자 C 와 E 처럼, 좌·우 2nd 스트로크 궤적이 겹쳐지는 것은 상체 전경각이 40°이하인 경우에 나타났다. 그리고 대상자 D 처럼 상체의 전경각이 50°이상일 경우 좌·우 2nd 스트로크 궤적 모양의 간격이 크게 떨어지는 것으로 나타났다(Figure 5).

5th 와 7th 스트로크에서 대상자 D 와 B 를 제외한 모든 대상자들의 좌·우 스텝 거리는 차이가 작았고〈Table 6〉, 좌·우 스트로크 궤적 모양은 5th 스트로크에서 대상자 D 와 E 가, 7th 스트로크에서 대상자 B 와 D 가 대칭적으로 나타나지 않았다. 그리고 상체 전경각의 크기에 따라 스트로크 궤적의 기울기에서 차이가 나타났다(Figure 5).

Discussion

기록경기에서 경기력은 기록을 단축시키는 것으로 이를 위해서는 얼마나 빠르게 가속하여 속도를 증가하느냐가 관건이다. 육상경기에서 속도를 증가시키는 방법은 스트라이드 길이나 스트라이드 빈도 혹은 스트라이드 율을 높이는 것이다(Mackala, 2007). 그러나 길이와 빈도(율)의 관계는 서로 반비례의 관계이다. 빙상 경기에서 500 m 스피드 스케이팅은 육상경기 중 100 m 종목에 해당하는 것으로 100 m 기록이 전체 기록의 28%를 차지한다.

De Koning, Groot & Ingen Schenau (1989)는 500 m 기록이 첫 100 m 기록과 0.88의 높은 상관이 있고 첫 100 m 동안에 선수가 가속할 수 있는 정도에 따라 최종 기록 변화에 거의 80% 관련이 있다고 보고하였다. 따라서 이 구간에서의 기록 단축은 경기력에 매우 큰 영향을 미친다고 할 수 있다.

이 연구에서 대상자들의 경기력은 100 m 기록이 좋은 선수가 평균속도도 높았고, 스텝과 스트라이드 빈도 및 스텝 율과 스트라이드 율도 높았다. 그러나 스텝 당 거리와 스트라이드 당 거리는 짧았다. 이러한 결과는 빈도와 거리가 서로 반비례 관계에 있음을 증명하고 있으며, 이들 변인 간 최적의 비율관계를 통해 기록 단축을 기대할 수 있을 것이다.

출발선에서 30 m까지는 최단 시간에 빨리 가속하여 최고의 속도에 도달하기 위한 준비구간으로서 출발 신호 후 스케이팅 동작은 런닝(running-like)기술과 푸쉬 오프 기술을 혼합하여 출발선에서 10 스텝동안에 자연스럽게 최고의 속도로 전환할 수 있는 조건을 만들고 이후에 정상적인 글라이딩 푸쉬 오프 기술을 사용하여 활주한다. De Koning 등 (1995)는 이 구간에서 선수가 스케이팅할 때 푸쉬 오프 하는 발끝의 합성속도와 신체무게중심의 수평속도는 동일하다고 하였고, 이후 선수가 글라이딩 기술에 의존할 때 이 두 속도는 차이가 나타나고 분리되며 그 시점은 대체로 6 스텝 푸쉬 오프 이후로 평균 속도가 6.7±0.3 m/s일 때 나타난다고 하였다. 이 연구에서 푸쉬 오프 하는 발끝의 합성속도와 신체무게중심의 수평속도는 대상자 B가 5 스텝 이후에, 대상자 A, C 그리고 E는 1 스텝 이후에, 그리고 대상자 D는 2 스텝 이후 왼쪽 다리만 분리되고 오른쪽은 6 스텝(오른쪽만 카운트)이후에 분리되는 것으로 나타났다. 그리고 7 스트로크를 수행하는 동안에 소요시간이 길고 신체무게중심의 평균속도가 높을수록 7 스트로크 동안에 이동한 거리가 긴 것으로 나타났으나 스텝 율과 스트라이드 율은 낮게 나타났다. 이와 같이 두 속도의 분리가 빨리 되면 출발 이후 글라이딩 기술에 의존하여 가속하려고 한다는 것을 알 수 있다.

Olson(2007)에 의하면, 출발동작에서 글라이딩이 없기 때문에 가속을 얻기 위해서는 스트라이드 거리와 스트라이드 빈도에 의존할 수밖에 없으며 임펄스 푸쉬(impulse push) 동작을 빠르게 하면 할수록 선수는 더 빠르게 가속을 할 수 있다고 하였다. 따라서 선수들은 출발선에서 출발하여 단시간 내에 최고의 속도에 도달하기 위해서 스트라이드 거리와 빈도를 높일 수 있는 임펄스 푸쉬 기술을 보완해야 할 것이다.

출발선에서 30 m까지 10 m 간격으로 소요되는 시간은 100 m 구간에서의 기록에 각각 21%, 11%, 10%로 총 42%를 차지하고 있었다. De Koning, Groot & Ingen Schenau (1989)는 경기력을 높이기 위해선 첫 100 m에서의 기록이 중요하다고 한 것처럼 기록을 단축하기 위해서는 출발에서 30 m까지의 시간단축이 필수적이라고 할 수 있다. 출발에서 10 m까지는 스텝 빈도와 좌·우 다리의 사이클 율이 높고, 신장대비 스텝 당 이동한 거리의 비율이 83% 이상 일 때 신체무게중심이 이 구간에서 최고의 수평속도를 얻을 수 있는 것으로 나타났다. Jun (2010)는 출발구간에서 정지 상태의 신체를 추진 시키려면 빠른 스트로크와 스케이팅 기본자세를 유지하는 것이 중요하고 두 발 사이가 넓은 스트로크는 신체무게중심의 이동과 신체의 가속을 어렵게 한다고 하였다. 이처럼 출발 신호 이후 런닝(running-like)기술을 이용한 임펄스 푸쉬 동작은 신장대비 스텝 거리 비율로 스텝 빈도와 좌·우 다리의 사이클 율을 높여야 이 구간에서의 기록을 단축할 수 있을 것이다.

10 m에서 20 m까지는 전 구간에 비하여 스텝 빈도와 좌·우 다리의 사이클 율이 떨어졌지만 스텝 당 이동거리가 증가하였으며 신장대비 스텝 당 이동한 거리의 비율이 151% 이상 일 때 신체무게중심이 최고의 수평속도를 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 이 구간은 런닝(running-like) 푸쉬 오프 기술과 글라이딩 푸쉬 오프 기술을 혼합하여 사용하면서 정상적인 글라이딩 푸쉬 오프 기술을 준비하여야 한다(De Koning et al., 1989). 따라서 신체무게중심의 가속을 높이고 기록을 단축하기 위해서는 신장대비 스텝 거리 비율로 스텝 당 거리를 증가시키면서 리커버리 동작을 빠르게 수행하여 좌·우 다리의 사이클 율을 높여야 할 것이다.

20 m에서 30 m까지는 정상적인 글라이딩 푸쉬 오프 기술을 사용하는 구간으로서 글라이딩 기술의 이점을 얻어

더욱 효과적으로 속도를 높일 수 있는 구간이다(De Koning et al., 1995). 대상자들은 이 구간에서 스텝 빈도가 낮아지고 좌·우 다리의 사이클 율 차이가 작아지는 것으로 나타났다. 신장대비 이동한 거리의 비율이 169% 이하일 때 신체무게중심이 최고의 수평속도를 얻을 수 있었고, 지나친 스텝 당 거리는 속도의 손실을 가져오는 것으로 나타났다. 따라서 신장대비 스텝 거리 비율로 스텝 당 거리를 조절할 필요가 있다.

좌·우 다리의 사이클 율은 출발 이후 10 m간격으로 20 m까지 우측이 좌측보다 높았고, 마지막 10 m에서는 우측과 좌측의 차이가 작아지면서 유사한 비율로 나타났다. 출발에서 20 m까지 좌·우 다리의 사이클 율 차이는 양 발의 글라이딩의 거리 차가 있다는 것이며 비대칭적인 임펄스 푸쉬와 글라이딩 푸쉬 오프 동작을 한다는 것이다. 따라서 이 구간에서 거의 동일한 좌·우 다리의 사이클 율이 발휘되도록 개선할 필요가 있다.

상체 전경각과 푸쉬 오프 각도도 점차적으로 작아지면서 신체무게중심의 좌·우 이동 범위가 일정하게 움직이고 좌·우 발끝 범위의 폭이 넓어지는 것으로 나타났다. 그리고 좌·우 무릎각은 왼쪽 무릎각이 오른쪽 무릎각 보다 더 크게 신전되었고, 무릎각의 좌·우 굴곡과 신전의 패턴은 불균형 패턴의 유형을 나타냈다. 2nd 스트로크의 좌·우 스텝 거리는 모든 대상자들에서 차이를 보였고〈Table 6〉, 5th와 7th에서는 차이가 작았다. 2nd, 5th와 7th 스트로크 궤적 모양이 대칭적으로 나타나지 않았다(Figure 5). De Koning 등 (1995)는 신체무게중심의 위치가 낮을수록 선수는 힘과 무릎관절의 가동범위를 크게 사용할 수 있고, x-방향만큼이나 y-방향으로도 큰 추진 속도를 발생시킬 수 있다고 하였다. 따라서 출발에서 빠르게 가속하여 정상적인 글라이딩 푸쉬 오프의 동작으로 전환하기 위해서는 신체무게중심의 위치를 낮추고 상체 전경각의 작은 변화와 균형 있는 좌·우 무릎각의 굴곡과 신전 패턴 및 좌·우 스트로크 궤적의 대칭이 되는 스케이팅 자세를 만들어야 할 것이다.

Conclusions

이 연구의 목적은 출발에서 14 스텝(7 스트로크)까지 싱글 레그(single-leg) 스케이팅 자세의 좌·우 글라이딩과 푸쉬 오프 동작의 일관성을 조사하는 것으로 다음과 같은 연구 문제를 설정하여 첫째, 인체 무게중심의 이동 궤적을 중심으로 푸쉬 오프 이후 좌·우 글라이딩 하는 발의 스트로크 궤적의 대칭 상태와 푸쉬 오프 하는 다리의 스텝 율과 사이클 율이 좌·우 동작에서 차이가 있는가? 둘째, 푸쉬 오프 하는 발끝의 합성속도와 신체무게중심의 수평속도 차이가 나타나는 시점이 어디인가? 를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

100 m 기록이 전체 기록에 28%로 경기력에 높은 비중을 차지하고 있으며, 출발선에서 30 m까지 기록은 100 m 구간에서의 기록에 총 42%를 차지하고 있었다. 2nd, 5th와 7th 스트로크 궤적 모양은 비대칭을 이루었고, 무릎각의 좌·우 굴곡과 신전의 패턴 또한 불균형으로 나타났다. 그리고 상체 전경각의 기울기는 푸쉬 오프 각도를 점차적으로 작아지게 하고, 신체무게중심의 좌·우 이동 범위를 일정하게 움직이게 하면서 좌·우 toe 범위의 폭을 크게 하였다. 그리고 좌·우 다리의 사이클 율이 출발 이후 10 m 간격으로 20 m까지 우측이 좌측보다 높았고, 좌·우 무릎각은 왼쪽 무릎각이 오른쪽 무릎각 보다 더 크게 신전되고, 양 발의 글라이딩의 거리 차가 있었다. 비대칭적인 임펄스 푸쉬와 글라이딩 푸쉬 오프 동작은 푸쉬 오프 하는 다리의 스텝 율과 사이클 율이 좌·우 동작에서 차이가 있었다. 출발 신호 후 스케이팅 동작은 런닝(running-like)기술과 푸쉬 오프 기술의 혼합보다는 글라이딩 푸쉬 오프 기술에 의존함에도 불구하고 스텝과 스트라이드 빈도와 율은 높으나 글라이딩 거리가 짧았다.

100 m 기록이 좋은 선수일수록 스텝과 스트라이드 빈도와 율이 높았으나 스텝과 스트라이드 당 거리는 짧았다. 출발선에서 30 m 구간까지 푸쉬 오프 하는 발끝의 합성속도와 신체무게중심의 수평속도가 분리되는 시점은 선수들마다 차이는 있었지만 6 스텝 푸쉬 오프 이전에 분리되었다.

이상의 결과들을 종합해 볼 때, 출발에서 30 m 구간까지 기록 단축을 위해서는 인체 무게중심의 이동 궤적을 중심으로 푸쉬 오프 이후 좌·우 글라이딩 하는 발끝의 스트로크 궤적이 대칭적인 궤적 형태로 동작이 수행되어야 한다. 푸쉬 오프 하는 좌·우 다리의 스텝 율과 사이클 율은 거의 유사하면서 신장대비 스텝 거리의 조정을 통해 스트로크 당 스트라이드 빈도의 증가가 요구된다. 끝으로 푸쉬 오프 하는 발끝의 합성속도와 신체무게중심의 수평속도는 6 스텝 푸쉬 오프 이후에 분리 되어야 한다.

Reference

Abdel-Aziz, Y., & Karara, H. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object-space coordinates synposium onclosee-rane photogrammetrry (pp. 1-18). *Urbana: ASP/UI.[Links].*

Back, J. H., Kwak, C. S., & Chung, N. J. (2004). Analysis of the female 500m sprint starting motion in short track speed skating. *Korean Journal of Sport Biomechanics,* 14(3), 285-299.

De Boer, R. W., & Nilsen, K. L. (1989). Work per stroke and stroke frequency regulation in olympic speed skating. *International Journal of Sport Biomechanics, 5*(2), 135-150.

De Koning, J. J., de Groot, G., & van Ingen Schenau, G. J. (1989). Mechanical aspects of the sprint start in olympic speed skating. *International Journal of Sport Biomechanics, 5*(2), 151-168.

De Koning, J. J., Thomas, R., Berger, M., de Groot, G., & van Ingen Schenau, G. J. (1995). The start in speed skating: From running to gliding. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 27* (12), 1703-1708.

Hettinga, F. J., De Koning, J. J., Schmidt, L. J., Wind, N. A., Macintosh, B. R., & Foster, C. (2011). Optimal pacing strategy: From theoretical modelling to reality in 1500-m speed skating. *British Journal of Sports Medicine, 45*(1), 30-35. doi:10.1136/bjsm.2009.064774 [doi].

Jun, M.K. (2010). Biomechanical Analysis of Starting Motion during a 500meter Speed Skating in the Korean Speed Skating Team Members. *korean Journal of Sport Science,* 21(4), 1510-1517.

Lee, C. H., & Back, J. H. (2005). The kinematical analysis of female 500m sprint start in 2005 World short track speed skating championship. *Korean Journal of Sport Biomechanics,* 15(4), 169-179.

Mackala, K. (2007). Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 metres. *New Studies in Athletics, 22*(2), 7.

Muehlbauer, T., Schindler, C., & Panzer, S. (2010). Pacing and performance in competitive middle-distance speed skating. *Research Quarterly for Exercise and Sport, 81*(1), 1-6.

Olson, K. H. (2007). "Introduction of a Glide Phase in Skating Mechanics for Hockey Players", http://assets.ngin.com/attachments/document/0005/2322/Effective_Stroke.pdf (accessed October 19, 2016).

Park, K. B., & Lee, J. S. (2007). An analysis of 500m inline skate starting motions. *Korean Journal of Sport Biomechanics,* 17(2), 23-29.

Plagenhoef, S. (1983). Anatomical data for analyzing human motion. *Research Quarterly for Exercise and Sport, 54*(2), 169-178.

Shin, S. H., & Back, J. H. (1996). Kinematical analysis of starting phase in 500m short track speed skating. *Korean Journal of Sport Biomechanics,* 6(1), 53-68.