KJAB
Korean Journal of Applied Biomechanics 2026; 36(1): 1-8
http://dx.doi.org/10.5103/KJAB.2026.36.1.1
http://e-kjab.org eISSN 2093-9752

ORIGINAL

Comparative Analysis of Straight-Line Skating Techniques Between Short-Track Speed Skating and Speed Skating Athletes

쇼트트랙 스피드 스케이팅 선수와 스피드 스케이팅 선수의 직선구간 스케이팅 동작 비교 분석

Viktor An

Department of Physical Education, Graduate School of Korea National Sport University, Seoul, South Korea

Received : 26 January 2026
Revised : 12 February 2026
Accepted : 13 February 2026

Corresponding Author
Viktor An
Korea National Sport University, Sports Biomechanics, 1239, Yangjae-daero, Songpa-gu, Seoul, 05541, South Korea

Email : gustn1123@nate.com

Objective: This study examined kinematic differences in straightaway skating strokes between short-track and speed skating athletes under fatigue conditions, aiming to identify technical characteristics associated with efficient propulsion in the later stages of a race.

Method: Ten elite male skaters (short-track: n=5; speed skating: n=5) completed a 1,000 m time trial to induce race-like fatigue. Three-dimensional kinematic data were collected using an infrared motion capture system (200 Hz). Straightaway skating during the final two laps was analyzed using event- and phase-based segmentation. Key variables included knee joint angles, upper-body forward lean angle, center of mass displacement, and stroke length. Group differences were assessed using independent-samples *t*-tests (α = .05).

Results: Speed skaters demonstrated significantly smaller knee joint angles during push-off and gliding phases, along with greater center of mass displacement during push-off transitions. Upper-body forward lean angle did not differ significantly between groups, although short-track skaters showed a tendency toward greater trunk flexion. No significant differences were observed in stroke length, but speed skaters consistently exhibited longer strokes.

Conclusion: These findings indicate that speed skaters maintain a more efficient straightaway propulsion strategy under fatigue by preserving optimal knee flexion, stable gliding posture, and coordinated center of mass movement. In contrast, short-track skaters relied more on compensatory lower-limb extension and trunk flexion. The results emphasize the importance of systematic straightaway-specific technical training to enhance performance in short-track speed skating.

Keywords: Short track speed skating, Speed skating, Straightaway stroke, Kinematics

INTRODUCTION

쇼트트랙 스피드 스케이팅(쇼트트랙)은 두 개의 곡선 주로와 두 개의 직선 주로로 구성된 총 길이 111.12 m의 경기장에서 순위를 겨루는 동계 스포츠 종목으로, 400 m 트랙에서 기록 경기 형태로 수행되는 스피드 스케이팅(스피드)에서 유

Copyright © 2026 Korean Journal of Applied Biomechanics
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

래되었다(Jun, 2001; Jun, Park & Back, 2001). 쇼트트랙 경기장은 스피드 경기장에 비해 곡선과 직선의 길이가 짧고 곡률 반경이 작은 구조적 특성을 지니고 있다. 따라서 쇼트트랙 선수들에게 전체 트랙 길이의 48%에 해당하는 곡선 구간은 전략적 접근과 기술적 수행 능력이 필요하며, 경기 결과에 결정적인 영향을 미치는 구간으로 보고되고 있다(Back, Jun & Lee, 2006). 또한 곡선 구간은 원심력의 영향으로 인해 직선 구간에 비해 평균 주행 속도가 약 11.9% 낮음에도 불구하고 경기장 외측으로 밀려나는 힘을 제어하고 속도를 유지하기 위해 더 큰 힘과 구심력 생성이 요구되는 고도의 스케이팅 기술이 필요한 구간이라고 알려져 있다(Felser et al., 2016; van der Kruk, Reijne, de Laat & Veeger, 2019).

반면 직선 구간의 경우 스피드 스케이팅과 다르게 경기장의 길이가 짧기 때문에 쇼트트랙에서는 직선 구간의 중요성이 크게 강조되지 않았다. 그러나 모든 쇼트트랙 경기에서의 승부는 후반부에 결정되며 이때 선수들의 경기력의 결정적 요인으로 곡선 구간보다 더 많은 길이를 스케이팅 해야 하는 직선 구간에서의 스트로크 기술이 뒷받침되어야 한다(Park, 1998). 실제로 대한민국 쇼트트랙의 전성기인 2000년대 중반까지의 선수들은 유소년 선수 때부터 직선 스케이팅 동작을 배워왔고, 실제 경기에서도 직선 구간마다 좌·우 각각 한번씩 스트로크를 수행하는 것이 일반적이었다. 그러나 현재 곡선 구간의 속도가 더욱 증가함에 따라 직선 추진 구간의 길이가 상대적으로 짧아지는 현상이 두드러지며, 이에 따라 제한된 직선 구간에서 효과적인 추진력을 확보하기 위해 푸시오프 이후 리커버리 동작을 생략하는 형태의 스트로크 수행이 일반화 되고 있다. 따라서 처음 쇼트트랙을 배울 때 이전의 선수들과 다르게 직선 구간의 스케이팅 동작을 명확히 숙지하지 못하는 선수들이 늘어나고 있다. 이러한 변화는 기술 발전에 따른 자연스러운 결과로 볼 수 있으나, 직선 구간에서의 기본 동작 습득이 충분하지 않은 선수들에게는 경기 후반부에서 비효율적인 움직임을 유발하여 대한민국 쇼트트랙의 경기력 저하로 이어지고 있다.

쇼트트랙과 스피드 종목은 경기 전략과 기술적 특성에서 차이를 보이지만, 직선 구간에서는 좌·우 방향으로 빙면을 밀어 추진력을 생성하는 스트로크(stroke)라는 공통된 기술을 사용한다. 스트로크는 스케이트의 날인 블레이드의 움직임에 따라 푸시오프(push-off), 리커버리(recovery), 글라이딩(gliding)으로 구성된다(Allinger & Van Den Bogert, 1997). 직선 구간에서의 경기력 결정 요인으로는 스케이팅 자세가 가장 중요한 요소로 제시되고 있으며, 특히 스트로크 동작 중 푸시오프 단계에서의 엉덩 관절과 무릎 관절의 신전 속도, 푸시오프 구간에서의 무릎 관절 각도, 그리고 푸시오프 시 무릎 관절이 최대 신전에 도달하는 시점에서 하퇴와 빙면이 이루는 각도가 직선 구간 기술 수행을 좌우하는 중요한 요인으로 보고되고있다(Park, 1998; Back et al., 2006; De Boer & Nilsen, 1989; De Boer, Schermerhorn, Gademan, De Groot & van Ingen Schenau, 1986; van Ingen Schenau, 1982; van Ingen Schenau, De Boer & De Groot, 1987; van Ingen Schenau, De Groot & De Boer, 1985). 많은 선행연구들은 우수한 스피드 선수일수록 직선 주로 활주 시 높은 스트로크 빈도수를 보이며, 공기저항을 최소화하기 위해 몸통 각도를 작게 유지하는 경향을 보이는 것으로 보고되었다(Park, 1998; De Boer et al., 1986; van Ingen Schenau et al., 1985). 더 나아가 푸시오프 구간에서 하지 신전 파워를 극대화하기 위해 무릎 관절 각도를 감소시키고, 수평에 가까운 몸통 각도와 신전 직전의 작은 무릎 관절 각도를 특징으로 하는 스케이팅 자세를 나타내는 것으로 보고되고 있다(van Ingen Schenau, 1980).

앞서 언급한 바와 같이 직선 구간마다 좌·우 각각 한 번씩 스트로크를 수행하는 것이 일반적이었다. 그러나 최근에는 푸시오프 이후 리커버리 동작을 생략하는 형태로 스케이팅을 수행하고 있기 때문에 순간적으로 속도를 가속시켜야만 되는 결정적인 순간을 성공적으로 만들지 못하고 있다. 많은 선행연구들은 쇼트트랙에서 이러한 직선 구간의 중요성을 제시해 왔다. Park (1998)은 선수들의 수준이 높아질수록 직선 구간에서 효과적인 스케이팅 기술 수행이 뒷받침 되지 않을 경우, 전체적인 경기력 저하로 이어질 수 있다고 보고하였으며, Back 등 (2006)은 쇼트트랙 훈련 과정에서 곡선 주로 기술에만 집중하고 직선 주로에서의 기술 향상이 충분히 고려되지 않을 경우, 활주 과정에서 속도의 연속성이 저하되며 직선 구간에서 생성된 추진력이 곡선 주로에서 가속이 효과적으로 전이 되지 못하는 문제가 발생할 수 있다고 보고하였다.

그러나 이러한 선행연구들의 지적에도 불구하고 현재까지 쇼트트랙의 직선 구간을 대상으로 분석한 연구는 매우 희박한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 직선 구간의 수행 비중이 높고 직선 스트로크 기술이 경기력에 핵심 요소인 스피드 선수들과 쇼트트랙 선수들의 직선 구간 스케이팅 동작의 운동학적 차이를 비교 분석하여 쇼트트랙 선수들의 경기력 향상은 물론 현장 지도자들이 효과적인 지도 전략을 수립하는데 활용할 수 있는 기초 자료를 제공하는 데 있다.

METHOD

1. 연구대상자

본 연구의 대상자는 건강한 20-30대 남성 10명(age: 24.20±3.79 yrs., height: 176.61±5.46 cm., body mass: 69.55±5.33 kg, career: 14.3±3.95 yrs.)으로 최근 6개월 이내 근골격계 상해나 수술한 경험이 없는 대상자로 현재 대한 빙상 경기연맹에 선수로 등록되어 있는 선수 중 국가대표 경력이 있거나 국가

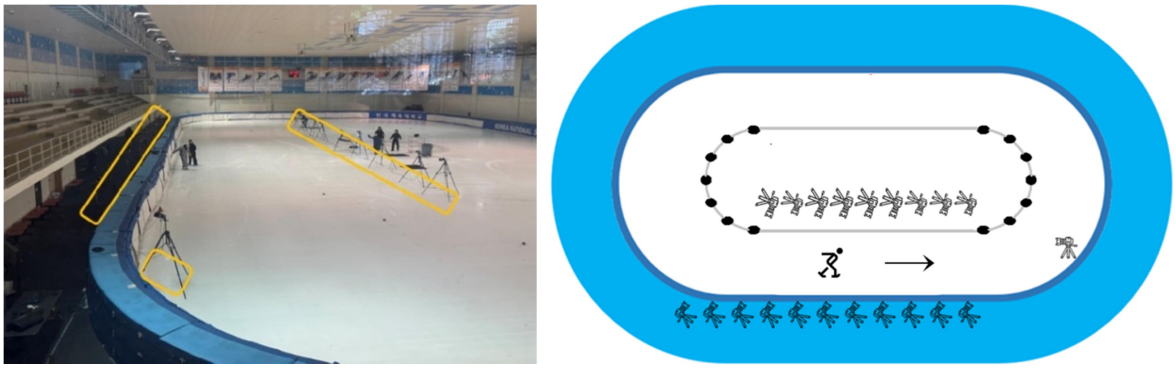

Figure 1. Experimental camera setup

대표 후보 경력이 있는 쇼트트랙 선수 5명, 스피드 선수 5명으로 대상자를 선정하였다. 본 연구는 K대학 연구윤리위원회의 승인을 받은 후(20251119-156) 실시하였다. 실험을 수행하기 전 모든 연구 대상자에게 본 연구의 실험 절차와 목적에 대하여 충분한 설명을 하였으며, 실험 참여를 위하여 동의서에 동의한 대상자에 한하여 실험을 진행하였다.

2. 실험절차

본 연구의 실험은 국제 정규규격의 K대학교 쇼트트랙 실내빙상장에서 진행되었으며, 모든 대상자는 동일한 실내 온도, 습도, 얼음 온도 환경에서 실험을 진행하였다. 본 실험의 스케이팅 시 최고의 수행을 위하여 대상자들에게 충분한 워밍업을 제공하였고, 그 후 최고 수행 능력으로 1,000 m 타임레이스를 실시하였다. 본 연구에서는 쇼트트랙 종목별 체력 요구 특성과 경기 수행 특성을 종합적으로 반영할 수 있는 1,000 m 타임레이스를 선정하였다. 즉, 500 m 종목은 폭발적인 근파워와 최대 스피드 발휘 능력이 요구되는 단거리 경기이며, 1,500 m 종목은 최대 유산소 능력과 페이스 조절 능력이 경기력을 좌우하는 장거리 경기이다. 이에 비해 1,000 m는 단거리에서 요구되는 가속 및 폭발적 힘과 장거리에서 요구되는 스피드, 지구력과 피로 저항 능력이 동시에 요구되는 종목으로, 선수들에게 체력적·기술적 부담이 가장 큰 경기로 평가된다(Haug, Drinkwater, Mitchell & Chapman, 2015). 실제 경기에서도 1,000 m는 경기 후반부로 갈수록 호흡곤란과 하지의 근피로가 급격히 증가하여 스케이팅 동작의 수행 효율이 저하되는 양상이 빈번히 관찰된다. 따라서 본 연구에서는 1,000 m 타임레이스를 통해 실제 경기 후반부와 유사한 높은 피로 상태를 유도하고, 이러한 조건에서 직선 구간의 푸시오프, 리커버리, 글라이딩, 체중 이동 등 기본 스트로크 기술이 얼마나 효율적으로 유지되는지를 평가하고자 하였다. 이를 위해 마지막 두 바퀴 직선 구간에서 기본 스트로크 기술을 수행하도록 지시하였으며, 데이터 사용은 마지막 두 바퀴 직선 구간의 평균 데이터를 사용하였다.

Figure 2. Marker-set

본 연구에서 모든 대상자는 개인 쇼트트랙용 스케이트 장비를 사용하였고, 직선 구간 동작의 운동역학적 차이 검증을 위하여 21대의 적외선 카메라(Oqus700, Qualisys, Sweden)를 사용하여 3차원 동작 분석이 수행되었으며(Figure 1), 이때 카메라의 자료 취득률(sampling rate)은 200 Hz로 설정되었다. 운동학 데이터는 Qualisys Track Manager (Qualisys, Sweden, [QTM])를 사용하여 수집하였다. 활주가 이루어지는 공간의 좌표 설정은 non-LINEAR TRANSFORMATION (NLT) 방식을 사용하여 전역 좌표를 설정하였다(X축:좌/우, Y축:전/후, Z축:상/하). 활주 중 신체의 분절을 규명하기 위하여 각 대상자의 신체에 총 56개의 반사 마커를 전신에 부착하였으며(Figure 2),

운동학적 변인 산출 시 발생하는 랜덤오류를 최소화하기 위하여 실험 절차에 따라 수집된 위치 좌표의 원자료는 2차 저역 통과 필터(butterworth 2nd order low-pass filter, 차단주파수: 10 Hz)로 처리하였다.

3. 자료처리 및 분석변인

본 연구에서 수행된 스케이팅 스트로크 동작은 4개의 시점(Event, E)과 3개의 구간(Phase, P)으로 설정하였다. 각 시점은 스케이트 블레이드의 위치를 기준으로 특정 지점을 설정하였다. 코너를 벗어나 직선 구간에 진입한 후 왼발 블레이드가 빙면에 접촉하는 순간을 E1으로 정의하였으며, 오른발 무릎 관절 각도가 최대가 되는 푸시오프 시점을 E2로 설정하였다. 이후 오른발의 블레이드가 빙면에서 떨어져 리커버리 동작 후 다시 빙면에 접촉하는 순간을 E3으로 설정하였고, 왼발 무릎 관절 각도가 최대 신전에 도달한 푸시오프 순간을 E4로 설정하였다. 또한 E1-E2까지의 구간을 오른발 푸시오프 구간(P1), E2-E3까지의 구간을 왼발 글라이딩 구간(P2), E3-E4까지의 구간을 왼발 푸시오프(P3)로 정의하였다(Figure 4).

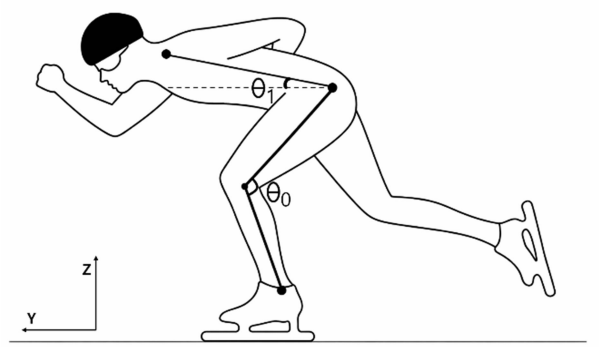

Figure 3. Joint and segment angle

본 연구에서 분석한 변인은 운동학적 변인으로, 신체 중심의 변위, 양발 스트로크 폭, 무릎 관절 각도와 상체 전경 각도(Figure 3)를 변인으로 사용하였다. 모든 운동학적 변인은 반사 마커를 기반으로 규명된 하지 분절의 3차원 관절 각도를 통해 산출되었다. 본 연구에서는 하지 관절 중 무릎 관절이 선택되었으며, 무릎 관절은 하지의 주요 기능적 관절로서, 스케이팅 동작 중 하중 지지와 자세 제어에 중요한 역할을 수행한다(Zhang et al., 2020). 선행연구에 따르면 스케이팅 동작 시 무릎 관절 각도와 푸시오프 관련 변인은 기술적 수행 수준 및 경기력과 밀접하게 연관되어 왔으며(Liu, Ding, Zhang, Yu & Liu, 2024), 국내 스케이팅 기술 분석 연구 또한 경기력 향상을 위한 핵심 기술 요인으로 무릎 관절의 움직임을 중심적으로 분석한 바 있다(Song, Park & Kim, 2018). 그리고 엉덩 관절의 내·외전 및 회전 각도는 해석의 일관성과 신뢰도에 한계가 있는 것으로 보고되었으며, 이에 본 연구 또한 결과 해석의 명확성을 고려하여 분석에서 제외하였다(Kainz et al., 2016). 본 연구에서 사용된 엉덩 관절과 무릎 관절의 좌표계는 X축을 굴곡(+)/신전(–), Y축은 내전(+)/외전(–), Z축은 내회전(+)/외회전(–)으로 정의 하였으며, 발 분절은 X축 배측 굴곡(+)/저측굴곡(–)으로 정의 하였다.

4. 통계처리

본 연구의 결과에 대한 통계적인 유의성을 확인하기 위하여 SPSS 25 (IBM, USA) 프로그램을 사용하였다. 스피드 선수 집단과 쇼트트랙 선수 집단 간 차이를 검증하기 위해 독립표본 *t* 검정(Independent *t*-test)을 실시하였으며, 모든 변인들의 통계적 유의수준은 α=.05로 설정되었다.

RESULTS

본 연구는 스케이트 1,000 m 타임레이스 동안 스피드 선수 집단과 쇼트트랙 선수 집단간 마지막 두 바퀴 직선 구간에서

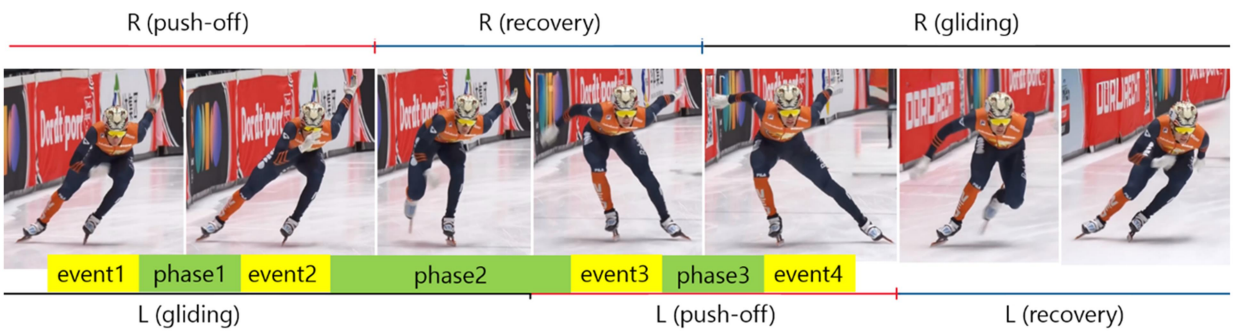

Figure 4. Event & Phase on skate stroke

Table 1. Knee joint angle at each event (sagittal plane) unit: degree

Last two lap	Speed skaters	Short track skaters	*t* (*p*)
E1	121.68±8.65	133.88±8.18	-2.73 (.04)*
E2	168.89±3.49	178.08±2.69	-18.49 (.00)*
E3	121.75±10.08	136.03±0.85	-2.77 (.03)*
E4	168.42±3.26	176.96±4.45	-2.54 (.04)*

*Indicate significant difference between groups (p <.05)

Table 2. Average knee joint angle during P1 & P2 (sagittal plane) unit: degree

Last two lap	Speed skaters	Short track skaters	*t* (*p*)
P1	107.05±7.36	113.40±4.83	1.69 (.4)
P2	114.29±3.96	122.60±3.08	0.69 (.01)*

*Indicate significant difference between groups (p <.05)

Table 3. Mediolateral center of mass displacement during each push-off phase unit: m

Last two lap	Speed skaters	Short track skaters	*t* (*p*)
P1	0.30±0.04	0.17±0.08	2.73 (.04)*
P3	0.15±0.01	0.06±0.03	10.83 (.00)*

*Indicate significant difference between groups (p <.05)

Table 4. Mean upper-body forward lean angle at P1 and P3 unit: degree

Last two lap	Speed skaters	Short track skaters	*t* (*p*)
P1	12.17±3.90	10.16±4.85	0.72 (.49)
P3	10.69±2.86	7.41±6.49	1.03 (.33)

*Indicate significant difference between groups (p <.05)

Table 5. Stroke length at the push-off event unit: m

Last two lap	Speed skaters	Short track skaters	*t* (*p*)
E2	0.66±0.05	0.63±0.02	-1.18 (.27)
E4	0.66±0.09	0.62±0.07	0.603 (.49)

*Indicate significant difference between groups (p <.05)

하지 관절의 운동학적 차이 분석을 목적으로 하였다. 연구목적을 달성하기 위하여 무릎 관절 각, 상체 전경각, 무게 중심 변위, 그리고 푸시오프 시점의 양발 스트로크 폭을 산출하였으며, 분석 결과는 다음과 같다.

먼저 직선 구간 스트로크 동작 중 모든 시점에서 스피드 집단이 쇼트트랙 집단보다 유의하게 작은 무릎 신전 각도를 보였다(Table 1, p <.05). 그리고 왼발의 평균 무릎 관절 각도의 경우 왼발 글라이딩 구간에서 스피드 그룹은 쇼트트랙 그룹에 비하여 통계적으로 유의하게 큰 굴곡 각도를 나타내었다(Table 2, p <.05). 또한 P1과 P3 구간 모두에서 스피드 그룹은 쇼트트랙 그룹에 비하여 통계적으로 유의하게 큰 좌우 방향 무게 중심 변위를 나타낸 반면 평균 상체 전경각의 경우 통계적으로 유의하지는 않으나 큰 상체 전경각을 보이는 경향을 나타내었다(Table 3, p <.05 & Table 4, p >.05). 마지막으로 푸시오프 시점에서의 양발 스트로크 길이의 경우 E2과 E4 모두에서 스피드 그룹이 쇼트트랙 그룹에 비하여 더 긴 경향을 나타내었으나 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다(Table 5, p >.05).

DISCUSSION

스케이트 경기에서 직선 구간의 추진력은 빠른 곡선 진입을 가능하게 하며, 이는 경기 전반의 수행력과 직결되는 핵심 요소이다. 선행연구에 따르면 직선 구간에서의 추진력 결정에는 스케이팅 자세가 중요한 역할을 하며, 특히 스트로크 구분 동작 중 푸시 오프 단계에서의 무릎 관절 각도가 직선 구간 기술 수행을 좌우하는 주요 요인으로 보고되었다(Park, 1998; Back et al., 2006; De Boer & Nilsen, 1989). 한편, 직선 구간 스트로크 효율을 중시하는 스피드 집단과의 비교는 쇼트트랙 선수의 직선 구간 기술 수행 수준을 객관적으로 평가하기 위한 유의미한 기준이 될 수 있다. 이에 본 연구는 쇼트트랙 선수와 스피드 선수의 직선 구간 스케이팅 동작을 비

교 분석하여, 피로가 누적된 경기 후반부 상황에서 두 집단 간 기술 수행 특성의 차이를 규명하고자 하였다. 이를 위해 1,000 m 타임레이스를 적용하여 실제 경기와 유사한 생리적·기술적 부담을 유도하고, 직선 구간 기본 스트로크 기술이 피로 상황에서도 얼마나 효율적으로 유지되는지를 분석하였다.

먼저 직선 구간 스트로크 동작 중 각 시점은 서로 다른 중요한 의미를 가지고 있다. E1과 E3는 푸시오프 동작의 시작으로 이 시점의 무릎 관절 각도는 전체 추진력 생성에 가장 큰 영향을 주며 E2와 E4는 최대 무릎 신전 시점으로 가장 큰 추진력의 생성으로 직선 구간의 스케이팅 속도를 결정하는데 가장 큰 영향을 준다. 본 연구 결과 직선 구간 스트로크 동작 중 푸시오프 시점(E2 & E4)에서 쇼트트랙 집단이 스피드 집단보다 유의하게 큰 무릎 신전각을 나타냈다(Table 1, p <.05). 일반적으로 큰 무릎 관절 신전은 강한 추진력을 생성하는 동작으로 인식되지만, 생체역학적 선행연구들은 과도한 무릎 신전이 반드시 추진 효율을 높이지는 않는다고 보고하였다. De Koning, De Boer, De Groot와 van Ingen Schenau (1987)는 직선 구간 푸시오프 효율이 무릎을 최대 신전하는 것보다, 힘이 전방 방향으로 가장 효과적으로 전달되는 각도에서 신전을 종료하는 것을 강조하였다. 또한 푸시오프 후반에 과도한 하지 관절의 신전은 생성된 힘이 수직 성분으로 분산되어 추진 효율이 저하될 수 있으며, 이는 곧 속도 유지에 불리하게 적용되는 것으로 보고되었다(Allinger & Van den Bogert, 1997; Kim, Hong & Ryu, 2018; Houdijk, de Koning, de Groot, Bobbert & van Ingen Schenau, 2000). 이러한 선행연구들의 결과를 볼 때, 본 연구의 쇼트트랙 집단에서의 상대적으로 큰 무릎 신전각은 효율적인 추진 전략이 아닌 피로 누적 상황에서 빙면을 끝까지 밀어내려는 보상적 전략으로 해석할 수 있다. 반면 스피드 집단의 작은 무릎 신전각은 추진력 부족의 결과가 아닌 효과적인 푸시오프 종료 시점을 안정적으로 유지한 결과로 판단된다. 그리고 본 연구의 E1과 E3에서의 유의미한 차이는 E2와 E4에서 나타난 과도한 무릎 신전각 차이가 순간의 차이가 아닌, 추진력 생성 시작 시점에서부터 형성된 기술 전략 차이임을 대변한다고 생각된다.

더불어 본 연구에서는 푸시오프로 얻어진 추진력을 얼마나 효율적으로 사용하고 있는지를 알아보기 위하여 P1과 P2에서의 평균 왼쪽 무릎 관절 각을 분석하였다. 분석 결과, 스피드 집단이 쇼트트랙 집단에 비하여 더 굴곡된 각도를 유지한 것으로 나타났으며 P2에서는 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다(Table 2, p <.05). P1은 오른발을 밀어주는 구간으로, 선수들은 이 추진력을 바탕으로 전진하게 된다. 이때 빙면을 지지하고 있는 왼쪽발은 오른발이 생성한 추진력을 효율적으로 유지하기 위하여 낮은 자세를 만들어야만 하며 오른발이 공중에 떠있는 P2에서는 더욱더 견고하게 낮은 자세를 유지하여야만 한다. 따라서 안정적인 직선 스트로크를 수행할 수 있는 스피드 그룹의 경우 무릎을 최대한 굴곡시킴으로써 이러한 자세를 유지한 반면 직선 스트로크의 능력이 떨어지는 쇼트트랙 그룹의 경우 무릎을 최대한 굴곡시키지 못함으로써 P1에서 발생시킨 추진력을 효율적으로 유지하지 못하고 있는 것으로 판단된다.

Allinger와 Van den Bogert (1997)는 직선 구간 스트로크 시 낮은 상체 전경각과 충분한 하지 굴곡 상태 유지가 이상적인 글라이딩의 형태라고 하였으며, Noordhof, Foster, Hoozemans과 De Koning (2014)은 스피드 장거리 종목의 분석 연구에서 피로가 누적될수록 글라이딩 구간에서의 무릎 관절 각 증가와 함께 속도가 감소한다고 보고하였다. 본 연구 결과 또한 스피드 집단은 피로가 누적된 상황에서도 상대적으로 더 큰 무릎 굴곡 각도를 유지하였으며, 이를 통해 추가적인 에너지 소비 없이 속도를 안정적으로 유지한 것으로 판단된다. 그러나 쇼트트랙 집단에서는 피로 누적에 따라 상대적으로 큰 무릎 신전 각과 함께 높아지는 자세의 경향을 보였으며, 이는 Yoon과 Park (2024)이 보고한 피로 누적 시 하지 관절 굴곡 감소와 신체 중심 상승이라는 결과와 같은 맥락의 결과이다. 이러한 결과는 쇼트트랙 집단은 직선 구간에서 글라이딩을 하나의 독립적인 기술 단계로 충분히 활용하기 보다는, 추진 동작 이후 곧바로 다음 동작으로 연결하려는 경향을 보였다고 해석된다.

쇼트트랙 직선 구간은 좌, 우 각 한 번의 강력한 스트로크(푸시오프)를 사용하여 구간을 통과하게 된다. 이러한 직선 구간에서의 스트로크는 이어지는 곡선 구간의 진입 속도를 결정하는 매우 중요한 동작으로 최대로 큰 속도를 내도록 노력하는 것이 중요하다. 따라서 선수들은 직선 구간의 스트로크 시 몸을 역동적으로 만들고 공기 저항을 줄이기 위하여 상체를 굽히는 노력이 필요하다고 알려져 있다(Jun et al., 2001; Allinger & Van den Bogert, 1997). 본 연구 결과 좌, 우 발의 푸시오프 구간인 P1과 P3에서 스피드 집단이 쇼트트랙 집단보다 유의하게 큰 신체 중심의 좌우 변위를 나타낸 반면(Table 3, p <.05), 상체 전경각의 경우 통계적으로 유의하지는 않지만 쇼트트랙 집단이 스피드 집단보다 더 굴곡된 경향을 나타내었다(Table 3, p <.05). P1은 곡선 구간을 벗어나 직선 구간의 첫 푸시오프가 시작되는 구간으로, 경기 흐름상 매우 중요한 구간이며, P3는 곡선 구간의 가속 크기를 결정하는 중요한 푸시오프 구간이라고 알려져 있다(Jun et al., 2001). 또한 Allinger와 Van den Bogert (1997)는 직선 구간에서 스트로크를 강하게 수행하는 것보다 좌우로 신체 중심을 얼마나 효과적으로 이동시키는가가 추진 효율을 결정한다고 보고하였다. 본 연구에서 스피드 집단이 P1과 P3 모두에서 더 큰 변위를 보인 것은 푸시오프 시 단순히 하지로 빙면을 미는 국소적 동작이 아닌, 신체 전체를 적극적으로 이동시키는 일관된 추진 전략을 사용함을 시사한다. 반면 평균 상체

전경각의 경우에서는 본 연구자가 예상하지 못한 결과가 나타났다. 본 연구자는 직선 주로에 특화 되어있는 스피드 집단이 공기 저항을 줄이기 위하여 더 상체를 굽힐 것으로 예상하였으나 통계적으로 유의하지는 않지만 쇼트트랙 집단이 더 굴곡된 상체 전경각을 나타내었다. 이러한 결과는 Allinger와 Van den Bogert (1997)가 제시한 결과로 설명되어진다고 생각된다. 즉, Allinger와 Van den Bogert는 "스케이팅 시 낮은 상체 전경각은 공기 저항 감소 및 추진 효율 향상에 유리하지만, 이러한 결과를 만들기 위해서는 하지 관절의 충분한 굴곡 유지가 동반되어야 한다"고 보고하였다. 결론적으로 본 연구에 참여한 쇼트트랙 집단은 우수 집단임에도 불구하고 숙련되지 못한 직선 스트로크 동작 때문에 E1, E3와 P2에서 스피드 그룹에 비하여 큰 무릎 신전 각을 보였으며 이때 발생된 불안정한 자세를 유지하기 위하여 몸통을 빙면으로 더 굴곡시킨 것으로 생각되어진다. 반면 스피드 집단은 충분히 굴곡된 하지와 P1에서 P3로 이어지는 신체 중심의 적극적인 좌우 이동을 유지하며, 안정적인 직선 구간 추진 전략을 지속한 것으로 해석된다(van der Kruk et al., 2019). 이러한 차이는 곡선 구간 중심으로 훈련된 쇼트트랙 선수들의 기술적 특성이 직선 구간에서도 반영된 결과로 해석되며, 본 연구의 쇼트트랙 집단에서는 푸시오프 이후 리커버리 동작이 생략되는 패턴에 익숙해지면서 선행연구에서 제시한 효과적인 신체 중심 이동에 제한이 있었을 것으로 판단된다.

마지막으로 경기력이 우수한 선수일수록 스트로크 길이가 길고 스트로크 파워가 높게 유지되며, 경기 후반부에 속도 유지에도 긍정적인 영향을 미친다고 하였다(Kim et al., 2018; Kim & Ryu, 2021). 본 연구 결과도 선행연구와 유사한 결과를 보였으며, 스피드 집단에서 효율적인 스트로크 추진력을 유지한 것으로 해석된다. 반면 쇼트트랙 집단은 스트로크 길이가 상대적으로 좁았으며, 더 큰 무릎 신전 각도와 굴곡된 상체 전경각으로 인해 푸시오프 시 하지를 스피드 집단에 비해 과도하게 후방 미는 결과를 보였다. 이러한 결과는 쇼트트랙 훈련 과정에서 직선 구간 기술이 독립적인 훈련 요소로 다뤄지기 보다는, 곡선 구간 전환을 위한 연결 동작으로 취급되어 온 훈련 환경의 영향을 반영한 결과로 해석될 수 있다.

CONCLUSION

본 연구는 스피드 선수와 쇼트트랙 선수 집단 간 1,000 m 타임레이스 후반부 직선 구간 스트로크 동작의 운동학적 차이를 분석하여, 종목 간 기술 수행 전략의 차이를 규명하고자 하였다. 그 결과, 모든 시점에서 무릎 관절 각, P2에서의 평균 무릎 관절 각, 그리고 P1, P3의 신체 중심 이동에서 집단 간 유의한 차이가 나타났다. 쇼트트랙 집단은 전반적으로 스피드 집단에 비해 더 큰 무릎 신전 각과 제한적인 신체중심 이동을 보였으며, 몸통각이 빙면으로 더 굴곡된 자세를 보였다. 반면 스피드 집단은 E1과 E3에서 낮은 자세를 유지하고, P1에서 효과적인 좌우 신체 중심 이동이 P2에서 안정적인 글라이딩 자세로 유지되면서 P3의 신체 중심 이동까지 잘 연결되었다. 이러한 결과는 피로가 누적된 실험 후반에서도 스피드 집단이 상대적으로 안정적인 스트로크 수행을 유지할 수 있었던 요인으로 해석된다. 따라서 본 연구 결과 단순히 푸시오프 시 강한 힘 발휘에 초점을 두기보다, 푸시오프 이전 단계에서의 적절한 무릎 관절 각 생성, 글라이딩 구간에서의 낮고 안정적인 자세 유지, 그리고 상체와 하지의 정렬을 바탕으로 효과적인 신체중심 이동을 위한 체계적인 훈련이 필요함을 시사한다.

본 연구는 실제 경기 상황에서의 피로 누적 시 기술 구사 특성을 분석하기 위한 실험 조건에서 수행되었다. 그러나 외부 변수가 통제된 단독 주행 환경에서 진행되었기 때문에, 실제 경기 중 발생하는 드래프팅 효과, 선수 간 신체 접촉, 경쟁 상황에 따른 전술적·기술적 변화를 충분히 반영하지 못하였다. 따라서 본 연구의 결과를 실제 경기 상황 전반으로 일반화하는 데에는 일정한 한계가 있다.

REFERENCES

Allinger, T. L. & Van Den Bogert, A. J. (1997). Skating technique for the straights, based on the optimization of a simulation model. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *29*(2), 279-286.

Back, J. H., Jun M. K. & Lee B. W. (2006). Analysis of the techniques of the straight and curve track in short track speed skating. *Journal of Coaching Capacity Development*, *8*(1), 33-40.

De Boer, R. W., Schermerhorn, P., Gademan, J., De Groot, G. & van Ingen Schenau, G. J. (1986). Characteristic stroke mechanics of elite and trained male speed skaters. *Journal of Applied Biomechanics*, *2*(3), 175-185.

De Boer, R. W. & Nilsen, K. L. (1989). The gliding and push-off technique of male and female Olympic speed skaters. *Journal of Applied Biomechanics*, *5*(2), 119-134.

De Koning, J. J., De Boer, R. W., De Groot, G. & van Ingen Schenau, G. J. (1987). Push-off force in speed skating. *Journal of Applied Biomechanics*, *3*(2), 103-109.

Felser, S., Behrens, M., Fischer, S., Heise, S., Bäumler, M., Salomon, R. & Bruhn, S. (2016). Relationship between strength qualities and short track speed skating performance in young athletes. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *26*(2), 165-171.

Haug, W. B., Drinkwater, E. J., Mitchell, L. J. & Chapman, D. W. (2015). The relationship between start performance and race outcome in elite 500-m short-track speed skating. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *10*(7), 902-906.

Houdijk, J. H. P., de Koning, J. J., de Groot, G. E. R. T., Bobbert, M. F. & van Ingen Schenau, G. J. (2000). Push-off mechanics in speed skating with conventional skates and klapskates. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *32*, 635-641.

Jun, M. K. (2001). Kinematic analysis of curved-track skating technique in short-track speed skating. *Korean Journal of Sport Science*, *12*(1), 38-51.

Jun, M. K., Park, K. D. & Back, J. H. (2001). Characteristics analysis on skate reaction force change in short track speed skating. *The Korean Journal of Physical Education*, *40*(2), 861-871.

Kainz, H., Modenese, L., Lloyd, D. G., Maine, S., Walsh, H. P. J. & Carty, C. P. (2016). Joint kinematic calculation based on clinical direct kinematic versus inverse kinematic gait models. *Journal of Biomechanics*, *49*(9), 1658-1669.

Kim, G. T. & Ryu, J. K. (2021). An analysis of the determinants of performance for the curves in official speed skating 500 m race. *The Korean Journal of Physical Education*, *60*(3), 189-203.

Kim, Y. S., Hong, S. H. & Ryu, J. K. (2018). Biomechanical analysis of stroke techniques in 500 m speed skating the late straight. *The Korea Journal of Sports Science*, *27*(1), 923-933.

Liu, Z., Ding, M., Zhang, M., Yu, B. & Liu, H. (2024). Effects of technique asymmetry on 500 m speed skating performance. *Bioengineering*, *11*(9), 899.

Noordhof, D. A., Foster, C., Hoozemans, M. J. & De Koning, J. J. (2014). The association between changes in speed skating technique and changes in skating velocity. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *9*(1), 68-76.

Park, S. H. (1998). *The kinematic analysis of short-track speed skating in straight*. Unpublished Master's Thesis, Department of exercise and sport science Graduate School Ewha Woman's University.

Song, J. H., Park, J. C. & Kim, J. S. (2018). Kinematic analysis of the technique for 500-m speed skaters in curving. *Korean Journal of Applied Biomechanics*, *28*(2), 93-100.

van der Kruk, E., Reijne, M. M., de Laat, B. & Veeger, D. H. (2019). Push-off forces in elite short-track speed skating. *Sports Biomechanics*, *18*(5), 527-538.

van Ingen Schenau, G. J. (1980). A biomechanical model of speed skating. *Journal of Human Movement Studies*, *6*, 1-18.

van Ingen Schenau, G. J. (1982). The influence of air friction in speed skating. *Journal of Biomechanics*, *15*(6), 449-458.

van Ingen Schenau, G. J., De Groot, G. & De Boer, R. W. (1985). The control of speed in elite female speed skaters. *Journal of Biomechanics*, *18*(2), 91-96.

van Ingen Schenau, G. J., De Boer, R. W. & De Groot, G. (1987). On the technique of speed skating. *Journal of Applied Biomechanics*, *3*(4), 419-431.

Yoon, J. M. & Park, S. K. (2024). Biomechanical changes over time during slide board training in sprint speed skaters. *Korean Journal of Sport Science*, *35*(3), 401-411.

Zhang, L., Liu, G., Han, B., Wang, Z., Yan, Y., Ma, J. & Wei, P. (2020). Knee joint biomechanics in physiological conditions and how pathologies can affect it: A systematic review. *Applied Bionics and Biomechanics*, *2020*(1), 7451683.