

Original Article

Biomechanical Changes Over Time During Slide Board Training in Sprint Speed Skaters

Jung-Min Yoon and Sang-Kyoon Park*

Korea National Sport University

Article Info

Received 2024. 02. 19.

Revised 2024. 08. 01.

Accepted 2024. 09. 03.

Correspondence*

Sang-Kyoon Park
spark@knsu.ac.kr

Key Words

Speed skating, Slide board,
Joint moment, Joint power,
Performance

이 논문은 윤정민의 석사학위 논문의
일부를 발췌하여 참조한 것임.

PURPOSE The purpose of this study was to provide information for improving the performance and skills of 500 m speed skaters by analyzing the kinematic and kinetic changes in their slide board movements over time. **METHODS** The subjects were 10 male short-distance skaters in their 20s to 30s who were registered as professional athletes with the Korea Sports Council. The changes in joint angle, joint moment, and joint power over time in the subjects' slide board motion were measured and analyzed. **RESULTS** It was found that during phase 2 of the skater's slide board movement, there was an increase in plantar flexion and a decrease in flexion of the lower extremity joint and extension of the knee and hip joint, with decrease in positive power of the knee joint. **CONCLUSIONS** The results of this study are expected to provide practical information to skating coaches and athletes by quantifying the biomechanical factors observed over time during slide board movements. In addition, this study is expected to contribute to the field of speed skating by presenting scientific training methods and proposing new analysis techniques to improve performance in the future.

서론

스피드 스케이팅(speed skating) 종목은 400 m 길이의 직선과 곡선으로 이루어진 트랙(track)에서 1/1000 sec 단위로 순위가 결정되는 기록 경기이다(Kim & Ryu, 2021). 또한, 추진력을 이용하는 종목이므로 탁월한 운동 수행 능력이 필요하다(Jeon et al., 2016).

스피드 스케이팅은 추진 방향과 사선 혹은 수직 방향으로 작용하는 힘에 의해 추진력을 얻는다. 이를 위해 스케이터(skater)는 다리를 옆으로 밀어 전방으로 나아가며, 이때 수행하는 동작을 스트로크(stroke)라고 한다(de Koning & van Ingen Schenau, 2000; de Koning et al., 1991; van Ingen Schenau & Bakker, 1980; van Ingen Schenau et al., 1987). 스트로크는 푸시오프(push-off), 글라이딩(gliding), 리커버리(recovery)로 구분되며, 푸시오프는 진행 방향과 수직으로 무릎이 펴질 때까지 밀어 추진력을 발휘하는 동작이다(Lee, 2014). 글라이딩은 앞으로 추진하면서 한쪽 다리로 얼음을 타고 나아가는 동작이다(van Ingen Schenau et al., 1987). 마

지막으로 리커버리는 신체 중심의 이동을 효율적으로 관장하여 신체의 관성에 의하여 가속을 최대로 발휘하는 동작이며(Jeon, 2010), 스케이팅은 이러한 스트로크 동작을 반복적으로 수행하여 전방으로 이동한다(Kim & Ryu, 2021).

스트로크 동작에서 추진력을 결정하는 요인으로는 스케이팅 자세(skating position)와 푸시오프 각도(push-off angle)가 제시되고 있다(Kim et al., 2018; Konings et al., 2015). 스케이팅 자세는 공기저항과 밀접한 관련이 있으며, 경기력을 증가시키기 위해서는 스케이팅 자세를 낮게 유지해야 한다(Kim et al., 2018; Konings et al., 2015). 선행연구에 의하면 몸통 분절의 각도는 약 15° 미만으로 유지하고, 무릎관절과 엉덩관절의 굴곡 각도는 증가시켜야 한다고 보고되고 있다(de Koning & van Ingen Schenau, 2000; Kim & Ryu, 2021; Konings et al., 2015; van Ingen Schenau et al., 1983; van Ingen Schenau et al., 1987). 푸시오프 각도는 푸시오프의 효율성을 판단하는 척도로, 푸시오프 각도가 작을수록 힘의 방향이 효율적이고 속도를 증가시키는 요인이며(Kim & Ryu, 2021), 이를 마지막까지 유지하기 위해서는 에너지 소비와 스케이팅 속도를 각 종목마다 최적의 방식으로 분배하는 것이 중요하다(Muehlbauer et al., 2010).

그중 단거리 종목인 500 m 경기는 최단 시간 내 최대 속도에 도

© 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.

달할 수 있는 능력이 필요하다. 즉, 폭발적인 힘으로 추진력을 증가시켜 마지막까지 낮은 자세로 증가된 속도를 유지하는 것이 중요하다(de Boer & Nilsen, 1989; Jeon et al., 2016; Kim et al., 2018; Muehlbauer et al., 2010). 그러나 500 m 경기 시 후반부로 갈수록 하지에 부하가 증가하여 자세에 변화가 나타나며, 이는 템포와 속도 등에 영향을 미쳐 마지막까지 속도를 유지하기 어려워 경기 기록이 증가하게 된다(Lee et al., 2001). 선행연구에 따르면 500 m 경기 시 후반부로 갈수록 경기력에서 차이가 나타나기 때문에 500 m 후반부 직선구간에 대한 연구의 필요성을 제시하였음에도 불구하고 이에 대한 연구가 이루어지지 않고 있다(Kim & Ryu, 2021; Kim et al., 2018).

스피드 스케이팅에 관한 선행연구를 살펴보면, 출발구간과 직선구간 그리고 곡선구간 등 스케이팅 대회 또는 시합 자체의 활주 기술에 대한 연구가 주를 이루고 있다(Choi, 1998; Jeon & Lee, 2018; Kim & You, 2002; Song et al., 2017; Song, Park et al., 2018; Song, Seo et al., 2018). 또한, 스피드 스케이팅의 특성상 현장 또는 실험실 환경에서 연구를 진행하기 어렵다는 점으로 인해 지상에서 스피드 스케이팅을 모방할 수 있는 대표적인 훈련 도구인 슬라이드 보드(slide board)를 사용한 연구가 다소 진행되고 있다(Kim et al., 2018; Lee, 2014; Van Horne & Stefanyshyn, 2005; Xu et al., 2016).

슬라이드 보드 훈련은 실제 스케이팅 동작과 유사한 효과를 낼 수 있으며, 앞서 언급한 바와 같이 지상에서 직선구간을 모방할 수 있는 대표적인 훈련 방법이다. 이를 통하여 제한된 환경과 공간에서 실제 스케이팅 동작을 재현할 수 있으며, 반복 훈련을 통해 민첩성과 근력, 지구력을 향상시켜 스케이팅 자세 유지 능력을 강화할 수 있다(Diener, 1994; Kimura et al., 2006; Yoon, 2024).

현재 이루어지고 있는 슬라이드 보드에 관한 선행연구를 살펴보면, 생리학적 측면에서의 연구(Piucco et al., 2015, 2016, 2017, 2018, 2021)는 활발하게 진행되고 있는 반면, 역학적 측면에서 진행된 슬라이드 보드와 관련된 연구는 슬라이드 보드 개선을 위한 연구(Yang et al., 2017)와 클럽 스케이팅(clap skate)에서 최적의 힌지 포인트(hinge point)를 도출하는 연구(Van Horne & Stefanyshyn, 2005)만이 제시되고 있다.

이처럼 대부분의 연구는 실제 현장에서만 진행되고 있으며, 실제 빙판 위에서 좋은 스케이팅 자세가 나올 수 있도록 뒷받침해 줄 수 있는 지상 훈련에 대한 연구는 많이 찾아볼 수 없다(Dunne et al., 2024; Foster et al., 1993; Yoon, 2024). Piucco et al.(2016)은 슬라이드 보드 훈련이 실제 현장에서 스케이터를 평가하는 것보다 구체적이고 실용적인 방법이라고 하였으며, 슬라이드 보드 훈련은 실제 스케이팅과 유사한 생체역학적 반응을 이끈다고 보고되어(Kandou et al., 1987) 제한적인 환경에서 슬라이드 보드 훈련을 통해 생체역학적 분석을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구의 목적은 500 m 스피드 스케이팅 선수의 슬라이드 보드 동작 시 시간 경과에 따라 나타나는 운동학 및 운동역학적 차이를 분석하여 선수의 경기력 향상 및 기술 향상을 위해 다양한 정보를 제공함에 있다.

연구방법

연구 대상

본 연구의 대상자는 대한체육회에 전문선수로 등록된 남자 20~30대 스피드 스케이팅 단거리 선수 10명으로, 최근 6개월 이내에 근골격계 상해가 없는 주동발이 오른발인 자로 선정하였다. 연구대상자들의 신체적인 특성은 (Table 1)과 같다.

연구 절차

본 연구는 K대학교 생명윤리위원회의 승인을 받았으며(승인번호: 1263-202306-HR-071-01), 모든 대상자는 연구 목적과 절차에 대해 충분히 설명을 들은 뒤 동의서를 작성한 후 본 연구를 수행하였다. 이후 키와 몸무게를 측정 후 본 실험을 위해 상의는 탈의하고 하의는 타이즈를 착용하였다. 공간좌표를 설정하기 위해 Non-Linear Transformation (NLT) 방식을 활용하여 공간좌표를 설정하였다. 공간좌표화(calibration)를 통해 실험 공간을 3차원 좌표계로 변환하였으며, 3차원 위치 데이터를 취득하기 위해 전신에 관절점과 분절 표면에 56개의 반사마커(reflective marker)를 부착하였다. 부착된 마커를 이용하여 각 관절 및 분절의 지역좌표계를 설정하였으며, 실험 준비를 완료한 후 본 동작을 수행하기 전에 대상자에게 충분한 준비운동 및 워밍업(warm-up)을 수행할 수 있도록 하였다. 동작 분석 시 슬라이드 보드와의 마찰 계수를 감소시키기 위해 대상자의 운동화 위에 스타킹을 착용하여 본 연구를 수행하였다.

실험 장비

슬라이드 보드 동작 시 시간 경과에 따른 운동역학적 분석을 위해 8대의 적외선 카메라(Oqus 300, Qualisys, SWE)와 1대의 지면반력기(FP6090-15-TM-2000, Bertec, USA)를 사용하였으며, 이때 샘플링 율(sampling rate)은 각각 100 Hz와 1,000 Hz로 설정하였다. 본 연구에서 사용된 슬라이드 보드는 운동역학적 변인을 정확하게 산출하기 위하여 실제 선수들이 훈련할 때 사용하는 슬라이드 보드를 참고하여 유사하게 자체 제작(LSL tech, KOR)하였으며, 선행연구를 참고하여 지면반력기 위에 슬라이드 보드를 설치하여 본 연구를 수행하였다(Krumm et al., 2021; Van Horne & Stefanyshyn, 2005). 이때, 지면반력 자료는 Analog-digital board에 영상 장비와 동조하여 자료를 획득하였으며, 지면반력 캘리브레이션은 Qualisys Track Manager program (QTM)을 통해 Z off set을 8 mm로 설정하여 본 연구를 수행하였다. 슬라이드 보

Table 1. Subject characteristic (Mean ± SD)

Variables	Male (n=10)
Age (year)	23.5±3.4
Career (year)	13.8±4.5
Height (cm)	174.7±3.1
Weight (kg)	74.9±5.9
500 m Best Record (sec.)	36.1±0.8

드에 사용된 소재는 PC polycarbonate를 사용하였으며, 가로 길이는 172 cm, 세로 길이는 45 cm 그리고 두께는 8 mm로 하였다. 그리고 수직 막대는 세로 길이 4 cm, 두께 4 cm로 하였으며, 정확한 지면반력 데이터 산출을 위해 슬라이드 보드의 1/3 지점을 절단하여 본 연구를 진행하였다. 또한, 8 mm 나사를 사용하여 슬라이드 보드와 지면반력기를 단단하게 고정하였다(Figure 1).

분석 변인 및 자료 처리

본 연구는 슬라이드 보드 동작 시 시간 경과에 따른 운동역학적 변화를 파악하기 위해 Visual3D 소프트웨어(C-motion, USA)를 이용하여 스트로크 소요 시간(stroke time), 신체 질량중심 위치(Center of Mass position), 관절 각도(joint angle), 관절 모멘트(joint moment), 관절 파워(joint power)를 산출하였다. 본 연구에서의 전역좌표계와 지면반력 좌표는 x축을 좌·우, y축을 전·후, z축을 상·하 방향으로 설정하였으며, 주요 운동 방향이 좌·우로 일어나므로 시상면에서의 움직임을 분석하였다. 이때, 관절 각도와 모멘트에 대한 측정의는 다음과 같다: 몸통 분절(trunk segment), 굴곡(+)/신전(-); 엉덩관절(hip joint), 굴곡(+)/신전(-); 무릎관절(knee joint), 굴곡(+)/신전(-); 발목관절(ankle joint), 배측굴곡(+)/저측굴곡(-).

본 연구의 실험 절차에 따라 수집된 3차원 위치 데이터는 자료 취득과정에서 발생하는 오차(random error)를 최소화하기 위해 butterworth 2차 저역 통과 필터(low-pass filter)를 사용하여 필터링(filtering)을 수행하였다. 차단주파수(cut off frequency)는 운동학 데이터는 10 Hz, 운동역학 데이터는 100 Hz로 설정하였다.

분석 구간

슬라이드 보드 수행 시간은 남자 500 m 경기 시간을 참고하여 1분 20초로 설정하였으며, 처음과 마지막 10초를 제외한 1분만 분석하였다. 분석 구간은 처음 10초가 지난 후 주동발을 시작으로 0초에 5회 스트로크(Initial stroke [I]), 30초에 5회 스트로크(Middle stroke [M]), 55초에 5회 스트로크(Last stroke [L])만 분석하였다. 슬라이드 보드 동작 수행은 1번만 진행되었다. 슬라이드 보드 동작 시 시간 경과에 따른 운동학적 및 운동역학적 차이를 분석하기 위해 event 1을 주동발 발목관절의 외측 마커와 수직 막대의 내측 접촉면 사이 거리를 계산하였으며, 이때의 사이 거리가 최소가 되는 시점(bar contact), event 2는 주동발의 발목관절이 외측 마커가 수직 막대에 닿은 후 주동축 방향으로 CoM이 최대 이동한 시점(CoM x axis max), event 3을 주동축 다리의 발이 수직 막대에서 떨어지는 시점(bar off)으로 설정하였다. 이때, event 1부터 event 2까지를 phase 1로 글라이딩 구간(gliding phase), event 2부터 event 3까지를 phase 2로 푸시오프 구간(push-off phase)으로 설정하였다(Figure 2).

통계 처리

슬라이드 보드 동작 시 시간 경과에 따른 운동학적 및 운동역학적 변인들의 차이를 검증하기 위해 반복측정 일원 변량분석(One-way Repeated Measures ANOVA)을 실시하였다. 유의한 차이가 나타난 경우, 사후검정으로 Bonferroni를 실시하였다. 모든 통계 분석은

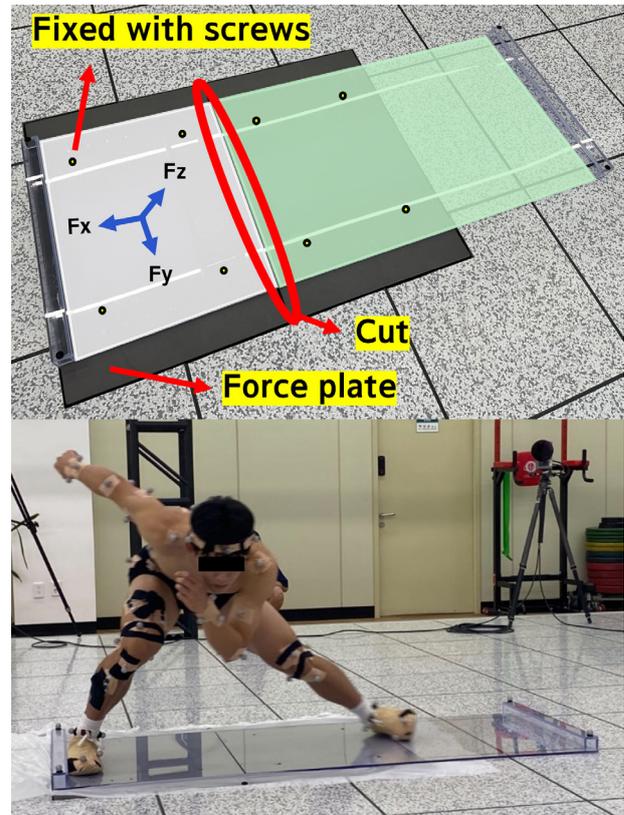


Fig. 1. Customized slide board on the force plates



Fig. 2. Event and phase setting

SPSS 25 ver. (IBM, USA) 프로그램을 사용하였으며, 유의 수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

연구결과

스트로크 소요 시간(Stroke time)

슬라이드 보드 동작 시 시간 경과에 따라 나타나는 스트로크 소요 시간 결과는 <Table 2>와 같다. 본 연구 결과, 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며($p < .05$), 사후검정 결과 중반 스트로크에 비해 후반 스트로크에서 시간이 증가한 것으로 나타났다.

신체 질량중심 위치(Center of Mass position)

슬라이드 보드 동작 시 시간 경과에 따라 신체 질량중심의 수직 위치는 <Table 3>과 같다. 본 연구 결과 시간 경과에 따라 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며($p < .05$), 사후검정 결과 시간 경과에 따라 증가하는 것으로 나타났다.

Table 2. Stroke time (Mean±SD)

Variables	0 sec ^I	30 sec ^M	55 sec ^L	F (p)	Post-hoc
Stroke time (sec)	1.68±0.30	1.65±0.25	1.80±0.22	7.45 (.01)*	L>M

*: Indicates significant difference ($p < .05$).
I: Initial stroke; M: Middle stroke; L: Last stroke

Table 3. CoM position (Mean±SD)

Variables	0 sec ^I	30 sec ^M	55 sec ^L	F (p)	Post-hoc
CoM Z max (m)	0.61±0.03	0.62±0.03	0.63±0.03	11.92 (.01)*	L>M>I
CoM Z min (m)	0.55±0.02	0.56±0.03	0.58±0.03	18.65 (.01)*	L>M>I

*: Indicates significant difference ($p < .05$).

Table 4. Joint angle (Mean±SD)

Variables	0 sec ^I	30 sec ^M	55 sec ^L	F (p)	Post-hoc
Event 1 AJA (°)	19.84±3.42	20.29±3.26	20.51±3.44	0.60 (.49)	-
Event 2 AJA (°)	29.30±2.11	29.28±1.87	28.47±2.66	3.56 (.04)*	-
Event 3 AJA (°)	-0.15±4.20	-6.50±5.48	-9.03±5.57	16.01 (.01)*	I>M>L
Event 1 KJA (°)	52.60±4.49	51.17±4.96	52.02±5.67	0.41 (.56)	-
Event 2 KJA (°)	72.53±7.34	68.79±7.37	67.01±6.91	18.45 (.01)*	I>M, L
Event 3 KJA (°)	23.12±5.97	16.23±8.26	14.12±8.18	18.77 (.01)*	I>M, L
Event 1 HJA (°)	52.60±4.49	51.17±4.96	52.02±5.67	0.41 (.56)	-
event 2 HJA (°)	72.53±7.34	68.79±7.37	67.01±6.91	18.45 (.01)*	I>M, L
Event 3 HJA (°)	23.12±5.97	16.23±8.26	14.12±8.18	18.77 (.01)*	I>M, L
Event 1 TSA (°)	74.69±4.02	73.27±5.14	74.78±4.40	5.34 (.01)*	L>M
Event 2 TSA (°)	75.37±2.90	74.00±3.55	74.80±2.77	2.11 (.17)	-
Event 3 TSA (°)	71.43±3.46	70.74±3.49	70.96±3.44	1.03 (.37)	-

*: Indicates significant difference ($p < .05$).
AJA: Ankle Joint Angle, KJA: Knee Joint Angle
HJA: Hip Joint Angle, TSA: Trunk Segment Angle
e1: bar contact; e2: CoM x axis max; e3: bar off

관절 각도(Joint angle)

슬라이드 보드 동작 시 시간 경과에 따른 시점별 발목관절(ankle joint), 무릎관절(knee joint), 엉덩관절(hip joint) 각도는 <Table 4>와 같다. 본 연구 결과, 발목관절의 각도는 event 2와 event 3에서만 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며($p < .05$). 사후검정 결과 event 3에서만 차이가 나타났으며, 시간 경과에 따라 저축굴곡 각도가 증가한 것으로 나타났다. 무릎관절 각도는 event 2와 event 3에서만 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며($p < .05$), 사후검정 결과 event 2와 event 3에서 초반 스트로크에 비해 중반과 후반 스트로크에서 무릎관절의 굴곡 각도가 감소한 것으로 나타났다. 엉덩관절 각도는 event 2와 event 3에서만 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며($p < .05$). 사후검정 결과 event 3에서만 차이가 나타났으며, 시간 경과에 따라 엉덩관절의 굴곡 각도가 증가한 것으로 나타났다. 몸통 분절 각도는 event 1에서만 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며($p < .05$), 사후검정 결과 중반 스트로크에 비해 후반 스트로크에서 몸통 분절의 굴곡 각도가 증가한 것으로 나타났다($p < .05$).

관절 모멘트(Joint moment)

슬라이드 보드 동작 시 시간 경과에 따라 나타나는 구간별 발목관절의 최대 저축굴곡 모멘트, 무릎관절과 엉덩관절의 최대 신전 모멘트는 <Table 5>와 같다. 본 연구 결과, phase 1과 phase 2에서 발목관절의 최대 저축굴곡 모멘트는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 무릎관절과 엉덩관절에서의 최대 신전 모멘트는 phase 2에서만 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며($p < .05$). 사후검정 결과, 무릎관절의 경우 phase 2에서 시간 경과에 따라 감소하는 것

Table 5. Peak joint moment (Mean±SD)

Variables	0 sec ^I	30 sec ^M	55 sec ^L	F (p)	Post-hoc
Phase 1 APFM (N·m/kg)	-0.45±0.38	-0.40±0.34	-0.52±0.26	1.88 (.18)	-
Phase 2 APFM (N·m/kg)	-0.46±0.36	-0.42±0.33	-0.53±0.29	2.02 (.16)	-
Phase 1 KEM (N·m/kg)	-1.78±0.33	-1.92±0.55	-1.73±0.27	1.18 (.32)	-
Phase 2 KEM (N·m/kg)	-1.86±0.22	-1.73±0.24	-1.53±0.18	21.64 (.01)*	I>M>L
Phase 1 HEM (N·m/kg)	-2.27±0.42	-2.21±0.63	-2.19±0.58	0.67 (.52)	-
Phase 2 HEM (N·m/kg)	-2.00±0.34	-1.85±0.30	-1.81±0.25	7.65 (.01)*	I>L

*: Indicates significant difference ($p < .05$).
APFM: Ankle Plantar Flexion Moment
KEM: Knee Extension Moment
HEM: Hip Extension Moment
p1: gliding phase; p2: push-off phase

로 나타났으며, 엉덩관절의 경우 phase 2에서 초반 스트로크에 비해 후반 스트로크에서 감소하는 것으로 나타났다.

관절 파워(Joint power)

슬라이드 보드 동작 시 시간 경과에 따라 나타나는 구간별 발목관절, 무릎관절, 엉덩관절의 양적 파워와 부적 파워는 <Table 6>과 같다. 본 연구 결과, 발목관절에서의 파워는 양적 파워와 부적 파워 모두 phase 2에서만 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($p < .05$). 사후검정 결과에서는 부적 파워에서만 차이가 나타났으며, 초반 스트로크

에 비해 후반 스트로크에서 부적 파워가 감소하는 것으로 나타났다. 무릎관절에서의 관절 파워는 양적 파워에서 모두 통계적으로 유의한 차이가 나타났으나($p < .05$) phase 2에서만 사후검정 결과에서 차이가 나타났다. 사후검정 결과 중반 스트로크에 비해 후반 스트로크에서 양적 파워가 감소한 것으로 나타났으며, 부적 파워의 경우, 모두 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 엉덩관절에서의 관절 파워는 양적 파워와 부적 파워 모두 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

논의

스피드 스케이팅은 파워를 지속적으로 유지할 수 있는 자세와 능력이 요구되며(Song et al., 2017), 특히 500 m 종목은 출발부터 추진력을 증가시켜 마지막까지 유지하는 것이 관건이다(Kim et al., 2018). 그러나 실제 500 m 경기 시 후반부 직선구간에서 경기력이 저하된다고 보고된 바 있으며, 후반부 경기력을 향상하기 위해서는 이에 관한 연구가 진행되어야 함에도 불구하고 연구가 이루어지지 않고 있다(Kim & Ryu, 2021; Kim et al., 2018; Lee et al., 2001). 스피드 스케이팅은 빙판 위에서 훈련을 수행하는 데 있어 시·공간적인 한계로 인해 빙판이 아닌, 지상에서 실제 스케이팅과 유사한 효과를 낼 수 있는 슬라이드 보드 도구를 사용하여 훈련을 수행한다(Yoon, 2024). 슬라이드 보드 훈련은 실제 스케이팅 동작을 모방하는 훈련으로, 제한된 공간에서 스케이팅을 평가 함에 있어 효과적이라고 보고되고 있다(Foster et al., 1993; Piucco et al., 2016). 따라서 본 연구는 500 m 단거리 선수의 슬라이드 보드 훈련 시, 시간이 경과 함에 따라 나타나는 운동학 및 운동역학적 차이를 분석하여 선수의 경기력 향상 및 기술 향상을 위해 다양한 정보를 제공하는 것에 목적이 있으며, 본 연구에 대한 결과를 다음과 같이 논의하고자 한다.

시간 경과에 따른 주법의 변화

본 연구를 수행한 결과, 시간이 경과 함에 따라 스트로크 소요 시간이 증가하는 것으로 나타났다. Back et al.(1995)과 Lee et al.(2001)은 실제 현장에서 500 m를 구간별로 분석하였다. 그 결과, 본 연구와 유사하게 후반부로 갈수록 소요 시간이 증가한 것으로 나타났으며, Kim et al.(2018)은 스트로크 소요 시간의 차이는 스케이팅 자세에서 기인하여 스트로크 보폭과 빈도에 영향을 미친다고 보고하였다. 이를 기반으로 본 연구 결과를 살펴보면, 시간이 경과 함에 따라 스케이팅 자세에 변화가 나타나 스트로크 소요 시간이 증가한 것으로 해석된다. 500 m 경기에서 직선구간은 곡선구간에서 증가시킨 속도를 길고 강력한 스트로크로 유지해야 하며(Jeon et al., 2016), 마지막까지 증가된 속도를 유지하기 위해서는 슬라이드 보드 훈련을 반복적으로 수행함으로써 자세 유지 능력을 강화해야 할 것으로 생각된다.

신체 질량중심의 위치와 경기력과의 관계

신체 질량중심의 수직 위치에 대한 결과는 시간이 경과 함에 따라 신체 질량중심의 위치가 수직 방향으로 증가하는 것으로 나타났다

Table 6. Peak joint power (Mean±SD)

Variables	0 sec ^L	30 sec ^M	55 sec ^L	F (p)	Post-hoc
Phase 1 APP (W/kg)	1.36±0.99	1.33±1.03	1.07±0.82	1.16 (.33)	-
Phase 2 APP (W/kg)	0.41±0.41	0.49±0.43	0.64±0.39	5.43 (.01)*	-
Phase 1 ANP (W/kg)	-0.44±0.40	-0.52±0.60	-0.49±0.30	0.31 (.73)	-
Phase 2 ANP (W/kg)	-0.89±0.50	-0.68±0.52	-0.49±0.39	9.28 (.01)*	I>L
Phase 1 KPP (W/kg)	-0.02±0.25	0.37±0.65	0.24±0.45	4.57 (.02)*	-
Phase 2 KPP (W/kg)	7.43±1.98	7.10±1.81	5.88±1.28	7.05 (.01)*	M>L
Phase 1 KNP (W/kg)	-3.92±1.47	-3.91±0.83	-3.14±1.01	2.57 (.13)	-
Phase 2 KNP (W/kg)	-0.73±0.40	-0.70±0.42	-0.66±0.40	0.25 (.68)	-
Phase 1 HPP (W/kg)	0.82±0.58	0.99±0.31	0.91±0.36	1.62 (.22)	-
Phase 2 HPP (W/kg)	2.17±0.29	2.01±0.24	1.91±0.27	4.16 (.05)	-
Phase 1 HNP (W/kg)	-2.14±0.85	-2.11±0.80	-1.96±0.72	0.55 (.51)	-
Phase 2 HNP (W/kg)	-0.25±0.25	-0.23±0.29	-0.29±0.23	0.38 (.68)	-

*: Indicates significant difference ($p < .05$).

APP: Ankle Positive Power, ANP: Ankle Negative Power

KPP: Knee Positive Power, KNP: Knee Negative Power

HPP: Hip Positive Power, HNP: Hip Negative Power

p1: gliding phase; p2: push-off phase

다. 이러한 결과는 하지에 부하가 증가하여 스케이팅 자세에 변화가 나타난 것이라 해석할 수 있다(Konings et al., 2015). 스케이팅 자세의 변화는 공기저항에 영향을 미치며(D'Auteuil et al., 2012; Spoelstra et al., 2023), 공기저항을 최소화하기 위해서는 하지관절의 굴곡 각도를 증가시키고, 몸통 분절의 수평 위치를 낮게 하여 낮은 스케이팅 자세를 취해야 속도를 증가시킬 수 있다(de Koning et al., 1992; Konings et al., 2015).

하지관절의 움직임과 경기력과의 관계

스피드 스케이팅에서 발목관절의 저축굴곡 각도 증가는 빙판 위에서 실제 스케이팅을 수행할 시 블레이드(blade) 끝이 빙판을 긁어 마찰을 증가시킨다(van Ingen Schenau et al., 1996). 이에 따라 균형을 잃어 속도를 감소시키므로 글라이딩 구간과 푸시오프 구간에서 저축굴곡을 억제해야 한다고 보고되었다(Houdijk et al., 2000; van Ingen Schenau et al., 1985; van Ingen Schenau et al., 1996). 그리고 선행연구에서는 푸시오프와 글라이딩 구간에서 하지관절의 굴곡 각도가 증가되어 있을수록 경기력 향상에 도움이 될 것이라 보고하였다(Konings et al., 2015; Noordhof et al., 2013). 그러나 본 연구를 결과에서는 phase 2인 푸시오프 구간에서 발목관절의 저축굴곡 각도는 증가하였으며, 하지관절의 굴곡 각도는 감소하는 것으로 나타났다. 각 관절은 사슬의 형태로 각 분절이 관절에 의해 연결되어 유기적으로 움직이므로(Loudon & Reiman, 2012; Novacheck, 1998; Song et al., 2017) 무릎관절의 굴곡 각도가 감소함에 따라 엉덩관절의 굴곡 각도 또한 감소된 것으로 판단된다. 이와 같은 결과는 실제 스케이팅 수행 시 발목관절에서의 저축굴곡 각도 증가는 빙판과의 마찰을 증가시키고, 하지관절의 굴곡 각도 감소는 실제 현장에서 밀어내는 힘의 크기가 감소하여 감속을 유발할 것으로 생각된다.

하지관절의 운동역학적 변인과 경기력과의 관계

선행연구에서는 미는 힘의 크기와 관절에 작용하는 힘의 모멘트 압으로 인해 관절 모멘트가 결정되며(Bobbert et al., 2002; Hall, 2014), 미는 힘의 크기가 증가함에 따라 스트로크 시 하지관절에서의 신전 모멘트가 증가한다고 보고하였다(de Boer et al., 1987). 그러나 발목관절의 경우, 피벗 포인트(pivot point) 사이의 모멘트 압이 증가할수록 리커버리 구간에서 발 회전을 지연시키고, 엉덩관절의 모멘트 압이 작아지면 모멘트도 감소하게 되어 리커버리 구간에서 발 회전 속도를 감소시킨다고 보고되었다(Bobbert et al., 2002; de Boer et al., 1987; Van Horne & Stefanyshyn, 2005). 본 연구 결과, 선행연구와 유사하게 발목관절의 경우 저축굴곡 모멘트는 유의한 차이가 나타나지 않았지만, 시간 경과에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 그리고 무릎관절과 엉덩관절의 경우 유의한 차이가 나타났으며, phase 2에서 시간 경과에 따라 신전 모멘트가 감소하는 것으로 나타났다. 이에 따라 실제 스케이팅 수행 시 후반부에서 밀어내는 힘의 크기가 감소하고(Konings et al., 2015; Noordhof et al., 2013; van Ingen Schenau et al., 1983), 빙판을 긁는 스트로크를 형성하게 되어 감속을 유발할 것으로 생각된다(Yoon, 2024). 그러므로 미는 힘의 크기를 증가시키기 위해서는 하지관절의 굴곡 각도를 증가시켜야 할 것으로 생각된다.

관절 파워는 양적 파워(positive power)와 부적 파워(negative power)로 구분된다. Winter(2009)에 따르면, 양적 파워는 단축성 수축을 통해 에너지를 생성하며, 관절 모멘트와 관절 각속도가 같은 방향으로 움직인다. 그리고 부적 파워는 신장성 수축을 통해 에너지를 흡수하며, 관절 모멘트와 관절 각속도가 서로 다른 방향으로 움직임을 나타낸다(van der Kruk et al., 2018; Winter, 1983). 이러한 관절 파워는 제동 구간에서 신장성 수축으로 인해 신체 질량중심을 감속시키고, 추진 구간에서는 단축성 수축을 통해 신체를 가속하여 추진력을 증가시킨다(Neptune et al., 1999; Neumann, 2017; Suzuki et al., 2011). 이를 기반으로 본 연구 결과를 살펴보면, 무릎관절은 양적 파워만 유의미한 차이를 나타내었으며, 사후검정 결과 phase 2에서만 중반에 비해 후반 스트로크에서 양적 파워가 감소한 것으로 나타났다. 이는 시간이 경과 함에 따라 하지에 부하가 증가되어 에너지 생성이 감소하였기에 이와 같은 결과가 나타난 것이라 해석된다. 이를 통해 실제 스케이팅 수행 시 양적 파워가 감소하면 후반부로 시간이 경과 할수록 추진력이 감소될 것으로 생각된다.

다음은 발목관절과 엉덩관절에서의 관절 파워이다. 본 연구 결과 발목관절의 양적 파워와 부적 파워 모두 phase 2에서만 유의한 차이가 나타났다. 사후검정 결과 phase 1에서는 차이가 나타나지 않았지만, 시간 경과에 따라 증가하는 경향을 나타내었고, phase 2에서는 초반에 비해 후반 스트로크에서 증가한 것으로 나타났다. 그리고 엉덩관절은 양적 파워와 부적 파워 모두 유의한 차이가 나타나지 않았다. 선행연구에 의하면 무릎관절의 신근(extensor muscle) 수축으로 생성되는 기계적 파워(mechanical power)는 대퇴이두근(biceps femoris)을 통해 전달되어 엉덩관절에서 기계적 파워가 나타나며(Roberts & Belliveau, 2005; van Ingen Schenau et al., 1992), 엉덩관절에서 생성된 힘이 발목관절까지 전달된다고 보고된 바 있다(Fregly & Zajac, 1996; Sanderson & Amoroso, 2009). 앞서 언급한 선행연구를 바탕으로 본 연구 결과를 해석하면, 시간 경과에 따라 엉덩관절에서 생성된 힘이 감소하면서 발목관절까지 힘이 전달되지 않아 발목관절에서 생성하는 힘이 증가한 것으로 생각된다. 따라서 엉덩관절에서 생성한 힘을 발목관절까지 전달하여 순차적으로 에너지를 생성해야 하며, 트레이닝을 통하여 마지막까지 하지관절의 양적 파워를 유지할 수 있어야 경기력 향상에 도움이 될 것으로 생각된다.

결론 및 제언

본 연구는 단거리 스피드 스케이팅 선수의 슬라이드 보드 동작 시 시간이 경과 함에 따라 나타나는 움직임의 변화를 파악하기 위하여 운동역학적 분석을 실시하였다. 본 연구의 결론은 <Figure 3>과 같다.

슬라이드 보드 동작 시 스트로크 소요 시간은 중반 스트로크에 비해 후반 스트로크에서 증가한 것으로 나타났으며, 신체 질량중심의 수직 위치 또한, 시간이 경과 함에 따라 수직 방향으로 증가한 것으로 나타났다. 하지관절 각도의 경우, 발목관절에서의 저축굴곡 각도는 증가한 것으로 나타났으며, 무릎관절과 엉덩관절의 굴곡 각도는 event 2와 event 3에서 감소한 것으로 나타났다. 그리고 몸통 분절 각도는 event 1에서만 통계적 차이가 나타났으며, 중반 스트로크에 비해 후반 스트로크에서 굴곡 각도가 증가한 것으로 나타났다. 슬라이드 보드 동작 시 하지관절의 신전 모멘트는 무릎관절과 엉덩관절

참고문헌

- Back, J., Yoon, H., Na, Y., & Lee, Y. (1995). Comparative kinematical analysis for 500m speed skating. *The Research Institute of Physical Education & Sports Science*, 14(1), 237-242.
- Bobbert, M. F., Houdijk, H., de Koning, J. J., & de Groot, G. (2002). From a one-legged vertical jump to the speed-skating push-off: A simulation study. *Journal of Applied Biomechanics*, 18(1), 28-45.
- Choi, J. Y. (1998). *Kinematical analysis on the sprint start in 500m speed skating*. Master's thesis, Korea National Sport University.
- D'Auteuil, A., Larose, G. L., & Zan, S. J. (2012). Wind turbulence in speed skating: Measurement, simulation and its effect on aerodynamic drag. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 104-106, 585-593.
- de Boer, R. W. & Nilsen, K. L. (1989). Work per stroke and stroke frequency regulation in Olympic speed skating. *Journal of Applied Biomechanics*, 5(2), 135-150.
- de Boer, R. W., Cabri, J., Vaes, W., Clarijs, J. P., Hollander, A. P., de Groot, G., & van Ingen Schenau, G. J. (1987). Moments of force, power, and muscle coordination in speed-skating. *International Journal of Sports Medicine*, 8(6), 371-378.
- de Koning, J. J., & van Ingen Schenau, G. J. (2000). Performance-determining factors in speed skating. V. Zatsiorsky (Ed.), *Biomechanics in sport: Performance enhancement and injury prevention* (pp. 232-246). Oxford, UK: Blackwell Science.
- de Koning, J. J., de Groot, G., & van Ingen Schenau, G. J. (1991). Speed skating the curves: A study of muscle coordination and power production. *Journal of Applied Biomechanics*, 7(4), 344-358.
- de Koning, J. J., de Groot, G., & van Ingen Schenau, G. J. (1992). A power equation for the sprint in speed skating. *Journal of Biomechanics*, 25(6), 573-580.
- Diener, M. (1994). The art, science, and business of the slide. *Fitness Manage*, 10, 26-30.
- Dunne, C., Hsu, T., Lockwood, K., Holmes, M., Wagnac, E., & Clément, J. (2024). Investigating the agreement between force platform and plantar pressure insole data in barefoot and skating-specific footwear conditions across four different movement patterns. *Footwear Science*, 16(1), 55-65.
- Foster, C., Thompson, N. N., & Synder, A. C. (1993). Ergometric studies with speed skaters: Evolution of laboratory methods. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 7(4), 193-200.
- Fregly, B. J., & Zajac, F. E. (1996). A state-space analysis of mechanical energy generation, absorption, and transfer during pedaling. *Journal of Biomechanics*, 29(1), 81-90.
- Hall, S. J. (2014). *Basic biomechanics* (7th ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
- Houdijk, J. H. P., de Koning, J. J., de Groot, G., Bobbert, M. F., & van Ingen Schenau, G. J. (2000). Push-off mechanics in speed skating with conventional skates and klapskates. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(3), 635-641.
- Jeon, M. (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.
- Jeon, Y.-K., & Lee, K.-H. (2018). The analysis of 2017/18 ISU Speed Skating World Cup 1st, 2nd and 3rd sprint Women's 500m interval records. *The Korea Journal of Sports Science*, 27(1), 783-791.
- Jeon, Y.-K., Choi, J.-I., Lee, K.-H., & Jegal, S.-R. (2016). Preparation for the 2018 Pyeongchang Winter Olympics 500m sprint speed skating match analysis and forecasts. *Journal of the Korea Society for Wellness*, 11(3), 527-535.
- Kandou, T. W., Houtman, I. L., vd Bol, E., de Boer, R. W., de Groot, G., & van Ingen Schenau, G. J. (1987). Comparison of physiology and biomechanics of speed skating with cycling and with skateboard exercise. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 12(1), 31-36.
- Kim, G.-T., & Ryu, J.-K. (2021). An analysis of the determinants of performance for the curves in official speed skating 500m race. *The Korean Journal of Physical Education*, 60(3), 189-203.
- Kim, H.-K., & You, K.-S. (2002). A kinematic and electromyographic analysis of lower limb for the speed skaters in slide board. *The Korea Journal of Sports Science*, 11(2), 871-882.
- 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.
- Kimura, I. F., Hetzler, R. K., & Nakasone, K. T. (2006). Physiologic considerations of therapeutic slideboard rehabilitation with an external loading device. *Journal of Athletic Training*, 41(1), 87-92.
- Konings, M. J., Elferink-Gemser, M. T., Stoter, I. K., van der Meer, D., Otten, E., & Hettinga, F. J. (2015). Performance characteristics of long-track speed skaters: A literature review. *Sports Medicine*, 45(4), 505-516.
- Krumm, D., Kuske, N., Neubert, M., Buder, J., Hamker, F., & Odenwald, S. (2021). Determining push-off forces in speed skating imitation drills. *Sports Engineering*, 24, 25.
- Lee, S.-H. (2014). *Kinematic analysis of speed-skating strokes in slide board practice*. Master's thesis, Chonnam National University.
- Lee, Y. J., Na, Y. S., & Back, J. H. (2001). Analysis of the 2000. World Sprint Speed Skating Championship. *Korean Journal of Physical Education*, 40(4), 975-982.
- Loudon, J. K., & Reiman, M. P. (2012). Lower extremity kinematics in running athletes with and without a history of medial shin pain. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 7(4), 356-364.
- Muehlbauer, T., Panzer, S., & Schindler, C. (2010). Pacing pattern and speed skating performance in competitive long-distance events. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(1), 114-119.
- Neptune, R. R., Wright, I. C., & van den Bogert, A. J. (1999). Muscle coordination and function during cutting movements.

- Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(2), 294-302.
- Neumann, D. A. (2017).** *Kinesiology of the musculoskeletal system: Foundations for rehabilitation* (3rd ed.). St. Louis, MO: Elsevier.
- Noordhof, D. A., Foster, C., Hoozemans, M. J. M., & de Koning, J. J. (2013).** Changes in speed skating velocity in relation to push-off effectiveness. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(2), 188-194.
- Novacheck, T. F. (1998).** The biomechanics of running. *Gait & Posture*, 7(1), 77-95.
- Piucco, T., Diefenthaler, F., Soares, R., Murias, J. M., & Millet, G. Y. (2017).** Validation of a maximal incremental skating test performed on a slide board: Comparison with treadmill skating. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(10), 1363-1369.
- Piucco, T., dos Santos, S. G., de Lucas, R. D., & Dias, J. A. (2015).** A novel incremental slide board test for speed skaters: Reliability analysis and comparison with a cycling test. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 50(186), 57-63.
- Piucco, T., O'Connell, J., Stefanyshyn, D., & de Lucas, R. D. (2016).** Incremental testing design on slide board for speed skaters: Comparison between two different protocols. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(11), 3116-3121.
- Piucco, T., Soares, R., Diefenthaler, F., Millet, G. Y., & Murias, J. M. (2018).** Oxygen uptake and muscle deoxygenation kinetics during skating: Comparison between slide-board and treadmill skating. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(6), 783-788.
- Piucco, T., Young, J., & Rodriguez, M. (2021).** 2D kinematics of a complete skating stride on a slide board at two different intensities: A preliminary study. The 21st Biennial Meeting of the Canadian Society for Biomechanics, Montreal, Canada.
- Roberts, T. J., & Belliveau, R. A. (2005).** Sources of mechanical power for uphill running in humans. *The Journal of Experimental Biology*, 208(10), 1963-1970.
- Sanderson, D. J., & Amoroso, A. T. (2009).** The influence of seat height on the mechanical function of the triceps surae muscles during steady-rate cycling. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(6), e465-e471.
- Song, J., Lee, D., & Moon, J. (2017).** Biomechanical analysis of speed skating 500 m start phase. *Korean Journal of Sport Science*, 28(3), 760-767.
- 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 Sport Biomechanics*, 28(2), 93-100.
- Song, J.-H., Seo, T.-B., & Kim, J.-S. (2018).** Kinematic analysis for improving the starting technique in 500-m speed skating. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 28(3), 151-158.
- Spoelstra, A., Terra, W., & Sciacchitano, A. (2023).** On-site aerodynamics investigation of speed skating. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 239, 105457.
- Suzuki, Y., Ae, M., Takenaka, S., & Fujii, N. (2011).** Kinetics of the support leg joints in the side step cutting technique. *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 11(Suppl. 2), 563-566.
- van der Kruk, E., van der Helm, F. C. T., Veeger, H. E. J., & Schwab, A. L. (2018).** Power in sports: A literature review on the application, assumptions, and terminology of mechanical power in sport research. *Journal of Biomechanics*, 79, 1-14.
- Van Horne, S., & Stefanyshyn, D. J. (2005).** Potential method of optimizing the klapskate hinge position in speed skating. *Journal of Applied Biomechanics*, 21(3), 211-222.
- van Ingen Schenau, G. J., & Bakker, K. (1980).** A biomechanical model of speed skating. *Journal of Human Movement Studies*, 6, 1-18.
- van Ingen Schenau, G. J., Boots, P. J. M., de Groot, G., Snackers, R. J., & van Woensel, W. W. L. M. (1992).** The constrained control of force and position in multi-joint movements. *Neuroscience*, 46(1), 197-207.
- 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.
- 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 Groot, G., & Hollander, A. P. (1983).** Some technical, physiological and anthropometrical aspects of speed skating. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 50(3), 343-354.
- van Ingen Schenau, G. J., De Groot, G., Scheurs, A. W., Meester, H., & De Koning, J. J. (1996).** A new skate allowing powerful plantar flexions improves performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(4), 531-535.
- Winter, D. A. (1983).** Moments of force and mechanical power in jogging. *Journal of Biomechanics*, 16(1), 91-97.
- Winter, D. A. (2009).** *Biomechanics and motor control of human movement* (4th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Xu, D., Shin, I., Park, J., Panday, S. B., Yang, J., Kim, K., ... & Moon, J. (2016).** Differences of posture on push-off phase between actual speed skating and slide-board training. *Proceedings of the 34th International Conference on Biomechanics in Sports*, 1155-1158.
- Yang, J.-H., Koo, D.-H., & Shin, I. (2017).** Push-off mechanics in actual speed skating and slide board training: A pilot study for designing skating simulator. *Indian Journal of Science and Technology*, 10(3), 105778.
- Yoon, J. M. (2024).** *Changes over time in biomechanical factors during slide board training in sprint speed skaters*. Master's thesis, Korea National Sport University.

단거리 스피드 스케이팅 선수의 슬라이드 보드 훈련 시 시간 변화에 따른 운동역학적 요인의 변화

윤정민¹, 박상균²

¹한국체육대학교, 연구원

²한국체육대학교, 교수

[목적] 본 연구의 목적은 남자 단거리 스피드 스케이팅 선수의 슬라이드 보드 동작 시 시간 변화에 따라 나타나는 운동역학적 요인의 변화를 분석하여 선수의 경기력 향상 및 기술 향상을 위해 다양한 정보를 제공함에 있다.

[방법] 대한체육회에 전문선수로 등록된 20~30대 남자 단거리 스피드 스케이팅 선수 10명으로 선정하였다. 모든 대상자는 슬라이드 보드를 1분 20초간 수행하였으며, 처음과 마지막을 제외한 1분만 분석하였다. 이때, 0초에 5회 스트로크, 30초에 5회 스트로크 그리고 55초에 5회 스트로크만 분석하였다.

[결과] 첫째, 스트로크 소요 시간은 중반 스트로크에 비해 후반 스트로크에서 증가한 것으로 나타났다($p < .05$). 둘째, 슬라이드 보드 동작 시 신체 질량중심 위치는 시간 경과에 따라 수직 방향으로 증가하는 것으로 나타났다($p < .05$). 셋째, 발목관절의 저축굴곡 각도는 증가한 것으로 나타났으며($p < .05$), 무릎관절과 엉덩관절의 경우 굴곡 각도가 감소한 것으로 나타났다($p < .05$). 그리고 몸통 분절 각도는 event 1에서 중반 스트로크에 비해 후반 스트로크에서 굴곡 각도가 증가한 것으로 나타났다($p < .05$). 넷째, 관절의 신전 모멘트는 무릎관절과 엉덩관절에서만 통계적 차이가 나타났으며, phase 2에서 감소한 것으로 나타났다. 다섯째, 관절 파워는 발목관절의 경우, phase 2에서만 통계적 차이가 나타났으며, 양적 파워는 증가하였고, 부적 파워는 감소한 것으로 나타났다($p < .05$). 무릎관절에서의 파워는 양적 파워만 통계적으로 차이가 나타났으며, phase 1에서 증가하고, phase 2에서 감소한 것으로 나타났다($p < .05$).

[결론] 본 연구의 결과는 슬라이드 보드 동작 시 시간 변화에 따른 운동역학적 요인의 변화를 정량화하여 많은 빙상 지도자와 선수에게 실용적인 정보를 제공할 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 본 연구를 통해 스피드 스케이팅에서 과학적인 훈련 방법을 제시할 수 있으며, 경기력 향상을 위한 새로운 분석 방법을 제안하는 데 의의가 있다고 생각된다.

주요어

스피드 스케이팅, 슬라이드 보드, 관절 모멘트, 관절 파워, 경기력 향상

<Appendix > lower limb joint angle, moment, power graph (blue line: 0 sec, black line: 30 sec, red line: 55 sec)
 0%~40%: phase 1 (gliding phase), 40%~100%: phase 2 (push-off phase).

