

Biomechanical analysis of speed skating 500 m start phase

Jooho Song¹, Donhyung Lee², & Jeheon Moon^{3*}

¹Korea Institute of Sport Science, ²Korea Health Promotion Institute, & ³Western Michigan University

[Purpose] The purpose of this study was to compare the technique and power of the Korean national athletes and international athletes in the start phase of the 500 m speed skating to improve the performance and to understand the relationship between the biomechanical variables affecting the record. **[Method]** The subjects were 8 Korean national athletes (Korean athletes) and 6 international athletes (international athletes). For the three dimensional motion analysis, 5 high-speed cameras were used to capture the 40 m start phase of the athletes participating in the international competition. The variables selected for analysis were the kinematic chain, 100 m net time, time to 9 strokes, horizontal position of center of mass after 2.5 sec, range of motion of trunk, knee, push-off angle, net power output, total power loss. **[Results]** The correct kinematic chain ratio of Korean athletes was 61.2%, which was lower than 76.0% of international athletes. The time to 9 strokes was 2.82 ± 0.25 sec for Korean athletes, which was significantly lower than 2.53 ± 0.11 sec for international athletes ($p = .001$). The range of motion of the push-off angle was $60.15 \pm 2.75^\circ$ for Korean athletes, which was significantly lower than $64.76 \pm 2.55^\circ$ for international athletes ($p = .001$). The net power output was 887.2 ± 269.9 W for Korean players and 1103 ± 264.1 W for international players ($p = .021$). The variables related to the 100 m net time were the horizontal position of center of mass after 2.5 sec ($r = -.956$, $p = .001$), the net power output ($r = -.931$, $p = .001$), and the total power loss ($r = -.904$, $p = .001$). **[Conclusion]** In order to improve the start performance of Korean athletes, it is necessary to maximize the efficiency of skating through skill training to use the correct kinematic chain. Also power enhancement training is needed to improve leg power because the net power output related with 100 m net time.

Key words: Speed skating, Start phase, Biomechanical analysis

서론

스피드 스케이팅은 대근육을 중심으로 지속적인 파워를 유지할 수 있는 자세와 능력이 요구된다. 특히, 단거리 종목인 500 m에서는 근 파워가 경기 승부를 결정하는 중요한 역할을 한다(Lee et al., 2001). 이와 동시에 글라이딩(gliding), 푸시오프(push-off), 리커버리

(recovery)로 연결되는 리드미컬한 기술은 신체중심의 이동을 극대화하여 최대한의 가속을 발휘할 수 있게 한다(de Koning et al., 1989; Jun et al., 2001; Konings et al., 2015).

최근 운동역학 분야에서 진행된 스피드 스케이팅 관련 국외연구에서는 대부분 직선구간에서의 효율적인 글라이딩 동작이나 코너 기술에 집중하였다(Juda et al., 2007; Noordhof et al., 2013). Noordhof et al.(2013)은 5,000 m 종목 스케이팅 동작에 대한 연구를 진행한 결과 감속의 원인으로 예상하였던 상체와 무릎관절의 변

논문 투고일 : 2017. 07. 10.

논문 수정일 : 2017. 08. 07.

게재 확정일 : 2017. 08. 19.

* 교신저자 : 문제현(moonjeheon@snu.ac.kr).

화가 없었기 때문에 파워 손실 보다는 근 피로에 의한 푸시오프 각도 감소와 같은 동작의 효율성에 중점을 두어야 한다고 보고하였다. Juda et al. (2007)은 곡선구간에서 스케이팅 속도를 유지하기 위한 동작기술 요인을 확인하기 위하여 수행하였다. 그 결과 코너구간에서 높은 속도를 유지하는 선수들은 글라이딩 후반부에 왼쪽 무릎을 굴곡 시키면서 신체중심을 보다 전방으로 향하는 기술을 구사한다고 하였다. 국내에서 진행된 스타트 동작에 관한 연구에서는 반응시간, 보폭, 블레이드 각도 등을 분석하여 정량적인 정보를 제공하고 있으나 2차원 분석을 수행하였기 때문에 기초 정보 제공에 그쳤다는 한계가 있었다(Jun, 2010). 또한 국제대회에 참가한 선수들의 스트로크 빈도와 거리, 속도를 분석하여 국내 선수들과 비교하는 연구를 진행하였는데 초기에서는 스트로크 빈도를 증가시키고 후반부에서는 스트로크 거리를 증가시켜야 할 것을 제안하였으나 세부적인 운동역학적 변인은 파악하지 못하였다(Lee et al., 2001).

스피드 스케이팅 스타트 동작은 출발선에서 정지된 자세를 추진시키기 때문에 빠른 반응과 함께 첫 번째 내딛는 발의 시간을 단축하여 신체의 관성을 극복해야 한다(Jun, 2010). 스타트 초기 스트로크에서는 육상 스프린트 스타트와 유사한 형태로 비교적 짧은 글라이딩으로 빙면을 지치며 가속하는 동작 수행한 후 약 여섯 번째 스트로크부터 글라이딩 동작으로 전환된다(de Koning et al., 1995; Maw et al., 2006). 따라서 스타트 구간에서는 하지 근력에 의한 폭발적인 파워와 함께 크랩 스케이트를 적극 활용한 효율적인 스트로크 기술이 요구되기 때문에 동작기술 분석과 함께 운동역학적 변인에 대한 평가도 필요하다. 또한 국내 선수들의 경우 파워가 부족하다는 평가를 받고 있기 때문에 해외 우수 선수들과 차이를 분석하여 경기력 향상을 위한 방안을 마련해야 할 것이다. 이에 본 연구의 목적은 2018 평창동계올림픽을 앞둔 현 시점에서 스피드 스케이팅 500 m 종목 스타트 구간의 한국 국가대표 선수들과 해외 우수 선수들의 기술동작과 파워를 비교하여 경기력 향상을 위한 방안을 제시하고 기록에 영향을 미치는 운동역학적 변인들의 관계를 파악하는 것이다.

연구방법

연구대상자

본 연구의 연구대상자는 한국 국가대표 스피드 스케이팅 선수 8명(연령 : 22.6 ± 3.5 세, 신장 : 1.72 ± 0.06 m, 체중 : 64.1 ± 5.8 kg, 500 m 최고기록 : 36.27 ± 1.78 sec), 해외 스피드 스케이팅 선수 6명(연령 : 26.5 ± 4.4 세, 신장 : 1.78 ± 0.06 m, 체중 : 74.7 ± 4.1 kg, 500 m 최고기록 : 35.52 ± 1.45 sec)으로 구성하였다(Table 1).

Table 1. Subjects information

	Age (Years)	Height (m)	Weight (kg)	Best record (sec)
KOR	22.6 ± 3.5	1.72 ± 0.06	64.1 ± 5.8	36.27 ± 1.78
Int.	26.5 ± 4.4	1.78 ± 0.06	74.7 ± 4.1	35.52 ± 1.45

KOR = Korea, Int. = International

실험절차

3차원 동작분석을 위한 영상자료 수집은 제42회 전국남녀 스프린트 스피드대회와 2016 세계스프린트선수권대회 스피드 스케이팅 500 m 종목을 대상으로 하였다. 촬영에는 고속카메라 5대(Sony NEX-FS700, JPN)를 동원하였으며, 각 카메라 간 동조(synchronization)를 위하여 BNC 케이블로 연결하였다. 고속카메라는 우측면 2대, 좌측면 2대, 후면 1대를 배치하여 40 m의 스타트 구간을 충분히 촬영할 수 있도록 하였다. 보다 선명한 화질의 영상을 얻기 위하여 좌우측면 설치한 2대의 카메라는 전반부(0~25 m)와 후반부(15~40 m)로 나누어 촬영할 수 있도록 배치하였다.

경기영상 촬영은 선수들이 스타트 라인에서 출발자세를 취한 순간부터 시작하여 16초 후 자동으로 종료될 때까지 진행하였다. 이때 녹화속도는 120 frames/sec, 셔터스피드는 1/500 sec로 설정하였다. 경기가 종료된 후 공간좌표계 설정을 위한 기준척(Visol, KOR) 촬영을 진행하였다. 기준척은 $8 \times 1 \times 2$ m 크기로 2세트를 조립하여 1세트는 출발 지점에 설치하였고 나머지 1세

트는 5 m 간격으로 전방 40 m 지점까지 이동시키며 영상 촬영을 실시하였다.

자료 분석

기준적을 촬영한 동영상은 편집 프로그램(Sony Vegas 9.0, JPN)을 사용하여 하나의 영상으로 합성한 후 DLT(Direct Linear Transformation) 방법에 의한 공간좌표계 형성에 사용하였다(Abdel-Aziz & Karara, 1971). 본 연구에서 설정한 공간좌표계의 오차범위는 제42회 전국남녀 스프린트 스피드대회가 1.93 cm, 2016 세계스프린트선수권대회가 1.79 cm이다. 인체모델은 21개의 관절과 16개의 분절로 연결된 강체로 구성하였다. 디지털라이징을 통하여 얻어진 원 자료는 Butterworth 2차 저역통과필터(Butterworth second order lowpass filter) 10 Hz로 평활화 후 3차 스플라인 함수에 의한 보간법을 사용하여 누락된 정보를 보정하였다.

분석변인은 선행연구를 참고하여 키네메틱 체인, 100m 네트 시간, 9 스트로크까지 소요시간, 스타트 2.5 sec 후 신체중심의 이동거리, 신체중심의 속도, 상체각도 가동범위, 무릎관절 각도 가동범위, 푸시오프 각도 가동범위, 정미 파워 출력(net power output), 총 파워 손실(total power loss)로 정하였다(de Koning et al., 1989; Bunton et al., 1993; Jun, 2010; Noordhof et al., 2013). 키네메틱 체인은 인체의 각 관절이 사슬의 형태로 연결되어 유기적으로 움직이는 양상을 평가할 때 활용하며, 스피드 스케이팅에서는 고관절, 무릎관절, 발목관절이 그 대상이다(Novacheck, 1998). 본 연구에서는 기존 선행연구의 정의를 참고하여 무릎관절, 고관절, 발목관절의 최대 각도 도달시간이 무릎관절-고관절-발목관절 순서로 나타난 경우를 올바른 키네메틱 체인이고 그렇지 않은 경우를 좋지 않은 키네메틱 체인으로 정의하였다(Bunton et al., 1993). 100m 네트 시간은 대회에서 제공하는 공식기록을 활용하였고 신체중심은 Kwon3D 3.1(Visol, Korea)에서 제공하는 Dempster(1955) 방식을 활용하여 산출하였다. 상체각도는 Y축에 대한 상체가 이루는 각(θ_1), 무릎관절의 각도는 대퇴와 하퇴가 이루는 각(θ_2), 푸시오프 각도는 신체중심과 발 분절이 X-Z 평면이 이루는 각(θ_3)으로

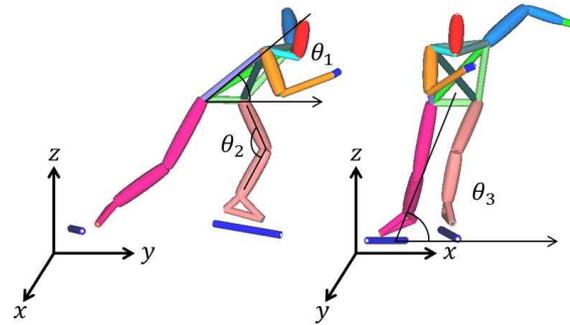


Fig. 1. Angle definition

정의하였다(Fig. 1). 키네메틱 체인, 상체각도 가동범위, 무릎관절 각도 가동범위, 푸시오프 각도 가동범위는 9 스트로크의 평균값을 산출하여 제시하였다.

정미 파워 출력을 산출하기 위하여 선수의 질량(m)과 신체중심의 속도(v)를 대입하여 운동에너지(E_{kin})를 산출하였다.

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

1회 스트로크 운동에너지($E_{kin\ stroke}$)를 소요시간(t_{stroke})으로 나누어 산출된 운동에너지의 증가는 평균 정미 파워 출력($P_{n\ stroke}$)을 의미한다.

$$P_{n\ stroke} = E_{kin\ stroke} / t_{stroke}$$

정미 파워 출력(이하 파워, $P_{n\ stroke}$)은 선수에 의하여 전달된 파워 출력(P_0)과 공기 및 빙면에 의하여 발생하는 마찰력(P_f)의 차로 구한다. 이때 푸시오프 국면에서는 양의 값, 비행과 글라이딩 국면에서는 음의 값으로 산출된다.

$$P_{n\ stroke} = P_{0\ stroke} - P_{f\ stroke}$$

스피드 스케이팅에서 발생하는 마찰력은 공기에 의한 마찰력과 빙면에 의한 마찰력으로 구분할 수 있다. 먼저 공기 마찰력(F_{air})은 매개변수(K)와 공기에 대한 선수의 속도(v)를 대입하여 산출한다.

$$F_{air} = K \cdot v^2$$

매개변수(K)는 선수의 신장(l), 수평면에 대한 상체의 각도(θ_1), 무릎각도(θ_2), 공기에 대한 선수의 속도(v), 해수면에서의 공기밀도(ρ_0), 속도의 자연로그($\ln v$), 해수면 고도(h , 태릉 국제스케이팅 경기장 67 m)를 대입하여 구한다.

$$K = 0.0205 l^3 \sqrt{m} \cdot (0.798 + 0.0132 \theta_1) \cdot (0.167 \cdot 0.00757 \theta_2) \cdot (4.028 - 0.809 \ln v - 0.189 v + 0.00866 v^2) \cdot \rho_0^{e - 0.000125h}$$

실내경기장은 바람이 없기 때문에 공기 마찰에 의한 파워 손실(P_{air})은 매개변수(K)와 공기에 대한 선수의 속도(v)를 대입하여 산출하였다.

$$P_{air} = k \cdot v^3$$

빙면 마찰에 의해 발생하는 파워 손실(P_{ice})은 빙면의 마찰계수(μ), 선수의 질량(m), 중력가속도(g), 선수의 속도(v)의 대입하여 산출한다. 빙면의 마찰계수는 -4°C 기준 0.0045, 수직력은 체중으로 가정하였다.

$$P_{ice} = u \cdot m \cdot g \cdot v$$

총 파워 손실(P_f)은 공기 마찰에 의한 파워 손실(P_{air})과 빙면 마찰에 의한 파워 손실(P_{ice})의 합으로 산출하였다(de Koning et al., 1989).

$$P_f = P_{ice} + P_{air}$$

정미 파워 출력과 총 파워 손실은 Matlab(R2009b, The MathWorks, Inc., Natick, MA, USA)을 활용하여 산출하였다.

통계처리

한국 국가대표선수와 해외 우수선수의 스타팅 구간에서 종속변인의 차이를 검증하기 위하여 독립표본 차이검증(Independent t -test)을 실시하였다. 또한 운동역학적 변인의 관계를 확인하기 위하여 Pearson 상관분석을 수행하였으며, 모든 통계적 유의수준은 $p < .05$ 로 설정하였다. 통계처리에는 SPSS 16.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하였다.

연구결과

스타트 후 9 스트로크의 스케이팅 동작을 수행하는 동안 한국 국가대표선수(한국선수)의 올바른 키네메틱 체인 비율은 61.2%로 해외 우수선수(해외선수)의 76.1% 보다 낮은 결과로 나타났다. 반면에 좋지 않은 키네메틱 비율은 한국선수들이 39.8%, 해외선수들이 24.9%의 결과로 나타났다(Fig. 2).

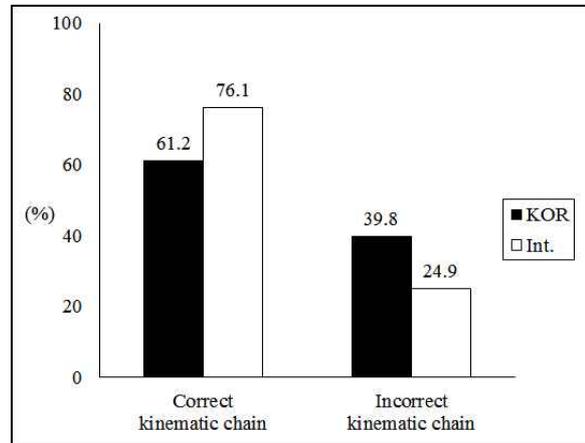


Fig. 2. Kinematic chain ratio of KOR and Int. during 9 stroke skating

한국선수들과 해외선수들의 운동역학적 변인의 독립표본 차이검증 결과는 <Table 2>에 제시하였다. 한국선수들의 100 m 네트 시간은 9.88 ± 0.53 sec로 해외선수들 9.81 ± 0.51 sec 보다 오래 걸렸으나 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 9 스트로크까지 소요시간에서는 한국선수들이 2.82 ± 0.25 sec로 해외선수들 2.53 ± 0.11 sec 보다 통계적으로 유의하게 높은 결과로 나타났다($p = .001$). 스타트 2.5 sec 후 신체중심의 이동거리는 한국선수들이 13.76 ± 1.40 m로 해외선수들 13.86 ± 1.29 m 보다 다소 짧았으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 상체각도의 가동범위는 한국선수들이 $35.83 \pm 6.09^\circ$ 로 해외선수들의 $38.48 \pm 5.88^\circ$ 보다 컸으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 무릎관절의 가동범위는 한국선수들이 $119.27 \pm 16.13^\circ$ 로 해외선수들의 $121.64 \pm 12.88^\circ$ 보다 작았으나 통계적으로

Table 2. Independent t-test result of between Korean national team athletes and international athletes

Variables	Korean athletes	International athletes	<i>t</i>	<i>p</i>
100 m net time (sec)	9.88 ± 0.53	9.81 ± 0.51	.341	.736
Time to 9 strokes (sec)	2.82 ± 0.25	2.53 ± 0.11	5.526	.001*
Horizontal position of COM after 2.5 sec (m)	13.76 ± 1.40	13.86 ± 1.29	-.228	.825
ROM of trunk angle (°)	35.83 ± 6.09	38.48 ± 5.88	-1.364	.180
ROM of knee angle (°)	119.27 ± 16.13	121.64 ± 12.88	-.368	.719
ROM of push-off angle (°)	60.15 ± 2.75	64.76 ± 2.55	-4.017	.001*
Net power output (Watt)	887.2 ± 269.9	1103 ± 264.1	-2.401	.021*
Total power loss (Watt)	125.5 ± 31.6	144.3 ± 38.9	-1.621	.113

* $p < .05$, COM = center of mass, ROM = range of motion.

Table 3. Pearson correlation analysis result of biomechanical variables

Variables	100 m net time	Time to 9 strokes	HP of COM after 2.5 sec	ROM of trunk angle	ROM of knee angle	ROM of push-off angle	Net power output	Total power loss
100 m net time	1.000	.446	-.956*	-.305	-.329	-.048	-.931*	.904*
Time to 9 strokes		1.000	-.310	-.581	-.222	-.547	-.586	-.437
HP of COM after 2.5 sec			1.000	.176	.333	-.100	.860*	-.873*
ROM of trunk angle				1.000	.184	.518	.410	.503
ROM of knee angle					1.000	.019	.295	.384
ROM of push-off angle						1.000	.207	.215
Net power output							1.000	-.925*
Total power loss								1.000

* $p < .05$, HP = horizontal position, COM = center of mass, ROM = range of motion.

유의한 차이가 나타나지 않았다. 푸시오프 각도의 가동 범위는 한국선수들이 $60.15 \pm 2.75^\circ$ 로 해외선수들의 $64.76 \pm 2.55^\circ$ 보다 통계적으로 유의하게 낮은 결과로 나타났다($p = .001$). 정미 파워 출력은 한국선수들이 887.2 ± 269.9 W로 해외선수들의 1103 ± 264.1 W보다 통계적으로 유의하게 낮은 결과로 나타났다($p = .021$). 총 파워 손실은 한국선수들이 125.5 ± 31.6 W로 해외선수들의 144.3 ± 38.9 W보다 낮은 결과를 보였으나 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

한국선수들과 해외선수들의 운동역학적 변인의 상관 분석 결과는 <Table 3>에 제시하였다. 100 m 네트 시간과 스타트 2.5 sec 후 신체중심의 이동거리는 역상관

관계로 나타났다($r = -.956$, $p = .001$). 또한 정미 파워 출력과는 역상관관계($r = -.931$, $p = .001$), 총 파워 손실과는 정상관계를 보였다($r = -.904$, $p = .001$). 9 스트로크까지 소요시간은 다른 운동역학적 변인과 상관 관계를 보이지 않았다. 스타트 2.5 sec 후 신체중심의 이동거리는 정미 파워 출력과 정상관계를 보였으며($r = .860$, $p = .007$), 총 파워 손실과는 역상관관계로 나타났다($r = -.873$, $p = .009$). 상체각도의 가동범위, 무릎관절의 가동범위, 푸시오프 각도의 가동범위는 다른 운동역학적 변인과 상관관계를 보이지 않았다. 정미 파워 출력은 총 파워 손실과 역상관관계로 나타났다($r = -.925$, $p = .001$).

논 의

본 연구에서 정의한 올바른 키네메틱 체인은 무릎관절, 고관절, 발목관절의 최대 각도 도달시간이 순차적으로 나타났을 경우이다. 한국선수들의 스타트 구간 9 스트로크 동안 올바른 키네메틱 체인 비율은 61.2%로 해외선수의 76.1% 보다 낮은 결과로 나타났다. 키네메틱 체인의 순서가 바뀌면 순차적인 동작이 이루어지지 않아 연결된 관절들의 보상 동작이 요구되므로 인체의 역학적 효율이 감소한다(Loudon & Reiman, 2012). 이러한 원인으로 인하여 한국선수들의 푸시오프 각도 가동범위는 $60.15 \pm 2.75^\circ$ 로 해외선수들의 $64.76 \pm 2.55^\circ$ 보다 통계적으로 유의하게 낮은 결과로 나타났다($p = .001$). 또한 Noordhof et al. (2013)의 연구에서도 동작의 효율성 측면에서 푸시오프 각도를 강조하여 본 연구와 일치된 견해를 보이고 있기 때문에 한국선수들에게는 푸시오프 각도를 활용할 수 있는 기술훈련이 필요할 것으로 사료된다.

스피드 스케이팅과 같은 기록경기에서 선수가 생성하는 파워는 경기력 향상과 밀접한 관련이 있는 요인이다(Lee et al., 2001; Malcata & Hopkins, 2014). 따라서 스트로크 시 발생하는 파워를 분석하여 세계정상급 선수들과 비교한 결과는 매우 의미 있는 정보를 제공할 수 있다(Konings et al., 2015). 본 연구에서 분석한 결과에 의하면, 한국선수들의 정미 파워 출력은 887.2 ± 269.9 W로 해외선수의 1103 ± 264.1 W 보다 통계적으로 유의하게 낮은 결과로 나타났다($p = .021$). 하지만 총 파워 손실에서는 한국선수들이 125.5 ± 31.6 W로 해외선수들의 144.3 ± 38.9 W 보다 다소 낮은 결과로 나타났으나 통계적인 차이는 없었다. 따라서 한국선수들이 스타트 구간에서 생성한 정미 파워 출력은 해외선수들에 비하여 현저히 부족하였기 때문에 기록 단축으로 연결되지 않은 것으로 판단된다. Kunz & Kaufman (1981)의 연구에 의하면 스타트 구간에서 파워를 향상시키기 위해서는 상체를 신전시킨 자세로 스트로크를 구사해야 한다고 하였다. 비록 본 연구에서는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았지만 한국선수들의 상체와 무릎각도의 가동범위는 해외선수들에 비하여 다소 낮은 결과로 나타났기 때문에 이 부분에 대한 개선이 필요할 것

으로 판단된다. 또한 스타트 구간에서의 기록 단축을 위해서는 하지 근 파워를 향상시킬 수 있는 플라이오메트릭 트레이닝과 스프린트 훈련 등을 도입하면 유용할 것이다(Markovic et al., 2007; Pire, 2006).

100 m 네트 시간과 통계적으로 유의한 상관관계를 보이는 운동역학 변인은 스타트 2.5초 후 신체중심 이동거리($r = -.956$), 정미 파워 출력($r = -.931$), 총 파워 손실($r = .904$)로 매우 높은 상관계수를 보였다. 이 결과는 스타트 2.5초 후 신체중심 이동거리와 정미 파워 출력이 높고 총 파워 손실이 낮을수록 100 m 네트 시간을 단축할 수 있다는 의미로 해석할 수 있다. 스타트 2.5초 후 신체중심 이동거리와 통계적인 상관계수를 보이는 운동역학적 변인은 정미 파워 출력($r = .860$)과 총 파워 손실($r = -.873$)로 나타났다. 따라서 스타트 구간의 기록 단축을 위해서는 빠른 반응시간에 이어 하지 근 파워를 활용한 폭발적인 가속 능력과 밀접한 관련이 있다고 할 수 있다(Jun, 2010; Lee et al., 2001; Malcata & Hopkins, 2014). 마지막으로 본 연구가 진행된 장소의 고도는 67 m로 2018 평창동계올림픽이 진행될 강릉 스피드 스케이팅 경기장의 고도 41 m와 큰 차이가 없다. 하지만 해외 경기장(켈거리 1,034 m, 솔트레이크시티 1,423 m)은 상당히 높은 고도에 위치하고 있어 총 파워 손실이 적을 가능성이 있기 때문에 단거리를 주종목으로 하는 한국선수들의 근 파워 향상은 반드시 필요할 것으로 사료된다.

결론 및 제언

스피드 스케이팅 500 m 스타트 구간에서 한국선수들과 해외선수들의 기술동작과 파워를 비교하고 기록에 영향을 미치는 운동역학적 변인들의 관계를 분석하여 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 한국선수들의 올바른 키네메틱 체인 비율은 61.2%로 해외선수들의 76.1% 보다 낮았다. 이러한 결과로 인하여 푸시오프 각도의 가동범위가 해외선수들에 비하여 작았으며, 스케이팅 효율을 극대화할 수 있는 기술훈련이 진행되어야 할 것이다.

둘째, 한국선수들의 9 스트로크까지 소요시간과 정미

파워 출력은 해외선수들 보다 낮았다. 단거리를 주종목으로 하는 선수들에게는 하지 근 파워를 향상시킬 수 있는 플라이오메트릭 트레이닝과 스프린트 훈련을 제안한다.

셋째, 100 m 네트 시간과 상관관계를 보이는 운동역학적 변인은 스타트 2.5초 후 신체중심 이동거리, 정미 파워 출력, 총 파워 손실이다. 또한 스타트 2.5초 후 신체중심 이동거리와 통계적인 상관계수를 보이는 운동역학적 변인은 정미 파워 출력과 총 파워 손실로 나타났다. 따라서 스타트 구간의 기록 단축을 위해서는 빠른 반응 시간에 이어 하지 근 파워를 활용한 폭발적인 가속 능력을 향상시켜야 할 것이다.

참고문헌

- Abdel-Aziz, Y. I., & Karara, H. M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. In Proc. *ASP/UI symp. close-range photogrammetry* (pp. 1-18).
- Bunton, E. E., Pitney, W. A., Cappaert, T. A., & Kane, A. W. (1993). The role of limb torque, muscle action and proprioception during closed kinetic chain rehabilitation of the lower extremity. *Journal of Athletic Training*, 28(1), 10-20.
- de Koning, J. J., de Groot, G., & van Ingen Shenau. (1989). Mechanical aspects of the sprint start in Olympic speed skating. *International Journal of sport Biomechanics*, 5, 51-168.
- de Koning, J. J., Thomas, R., Berger, M., de Groot, G. & van Ingen Shenau, G. J. (1995). The start in speed skating: from running to gliding. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(12), 1703-1708.
- Dempster, W. T. (1955). *Space requirements of the seated operator*. WADC-55-159, AD-087-892. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.
- Juda, J., Yuki, M., Aoyanagi, T., Fujii, N., & Ae, M. (2007). Kinematic analysis of the technique for elite male long-distance speed skaters in curving. *Journal of Applied Biomechanics*. 23(2), 28-138.
- Jun, M. K. (2010). Biomechanical analysis of starting motion during a 500 meter speed skating in the Korean speed skating team members. *Korean Journal of Sport Science*, 21(4), 1510-1517.
- Jun, M. K., Park, K. D., & Back, J. H. (2001). Characteristics analysis on skate reaction force change in short track speed skating. *Korean Journal of Physical Education*, 40(2), 861-871.
- 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.
- Kunz, H., & Kaufmann, D. A. (1981). Biomechanical analysis of sprinting: decathletes versus champions. *British Journal of Sports Medicine*, 15(3), 177-181.
- Lee, Y. J., Na, Y. S., & Back, J. H. (2001). Analysis of the 2000 World sprint speed skating championship. *The 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.
- Markovic, G., Jukic, I., Milanovic, D., & Metikos, D. (2007). Effects of sprint and plyometric training on muscle function and athletic performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 543-549.
- Malcata, R. M., & Hopkins, W. G. (2014). Variability of Competitive Performance of Elite Athletes: A Systematic Review. *Sports Medicine*. 44(12), 1763-1774.
- Maw, S., Proctor, L., Vredenbur, J., & Ehlers, P. (2006). Influence of starting position on finishing position in World Cup 500 m. *Journal of Sports Sciences*, 24(12), 1239-1246.
- 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.
- Pire, N. (2006). *Plyometrics for Athletes at All Levels: A Training Guide for explosive speed and power*. Ulysses Press.

스피드 스케이팅 500 m 스타트 구간의 운동역학적 분석

송주호(한국스포츠개발원), 이돈형(한국건강증진개발원), 문제현(웨스턴미시간대학교)

【목적】 본 연구의 목적은 스피드 스케이팅 500m 종목 스타트 구간에서 한국 국가대표선수들과 해외 우수 선수들의 기술동작과 파워를 비교하여 경기력 향상을 위한 방안을 제시하고 기록에 영향을 미치는 운동역학적 변인들의 관계를 파악하는 것이다. **【방법】** 연구대상자는 한국 국가대표 스피드 스케이팅 8명(한국선수), 해외 스피드 스케이팅 선수 6명(해외선수)이다. 3차원 동작분석을 위하여 고속카메라 5대를 동원하여 국제대회에 참가한 선수들의 스타트 동작 40 m 구간을 촬영하였다. 분석변인은 키네메틱 체인, 100 m 네트 시간, 9 스트로크까지 소요시간, 스타트 2.5 sec 후 신체중심의 이동거리, 신체중심의 속도, 상체각도 가동범위, 무릎관절 각도 가동범위, 푸시오프 각도 가동범위, 정미 파워 출력, 총 파워 손실로 정하였다. **【결과】** 한국선수의 올바른 키네메틱 체인 비율은 61.2%로 해외선수의 76.0% 보다 낮았다. 9 스트로크까지 소요시간에서는 한국선수들이 2.82 ± 0.25 sec로 해외선수들 2.53 ± 0.11 sec 보다 통계적으로 유의하게 높았다($p = .001$). 푸시오프 각도의 가동범위는 한국선수들이 $60.15 \pm 2.75^\circ$ 로 해외선수들의 $64.76 \pm 2.55^\circ$ 보다 통계적으로 유의하게 낮았다($p = .001$). 정미 파워 출력은 한국선수들이 887.2 ± 269.9 W로 해외선수들의 1103 ± 264.1 W 보다 통계적으로 유의하게 낮았다($p = .021$). 100 m 네트 시간과 관련이 있는 요인은 2.5 sec 후 신체중심의 이동거리($r = -.956$, $p = .001$), 정미 파워 출력($r = -.931$, $p = .001$), 총 파워 손실($r = -.904$, $p = .001$)이다. **【결론】** 한국선수들의 스타트 구간 기록 향상을 위해서는 올바른 키네메틱 체인을 구사할 수 있는 기술훈련을 통하여 스케이팅의 효율을 극대화해야 한다. 또한 100 m 네트시간과 관련이 있는 정미 파워 출력이 해외선수들에 비해 낮은 결과로 나타났기 때문에 하지 근 파워를 향상시킬 수 있는 훈련을 도입해야 할 것이다.

주요어: 스피드 스케이팅, 스타트 구간, 운동역학적 분석