3D Kinematic changes of lower extremity between the two different stop distances of snowplow in alpine skiing

Joo-Nyeon Kim[1], Jin-Hae Kim[1], Jiseon Ryu[2], Sukhoon Yoon[3], Sang-Kyoon Park[1]

[1] Department of Physical Education, Korea National Sport University, Seoul, South Korea
[2] Department of Health and Exercise Science, Korea National Sport University, Seoul, South Korea
[3] Department of Community Sport, Korea National Sport University, Seoul, South Korea

Corresponding author
Sang-Kyoon Park, Ph.D.
Associate Professor
Department of Physical Education
Korea National Sport University
1239, Yangjae, Songpa-gu, Seoul, 05541, Korea
Tel: +82-2-410-6952, Fax: +82-2-410-6927, Email: spark@knsu.ac.kr

Abstract

Objective: The aim of this study was to investigate three dimensional kinematic changes of lower extremity between the two different stop distances during snowplow in alpine ski.
Method: Six alpine ski instructors (age: 25.3±1.5 yrs, height: 169.3±2.9 cm, weight: 66.2±5.9 kg, career: 4.2±2.9 yrs) participated in this study. Each skier was asked to perform snowplow on the two different stop distances (2 and 4 m).
Results: Snowplow angle and edging angle were significantly greater in 2 m stop distance than 4 m (p=.006 and p=.005). Ankle adduction and inversion were greater in 2 m stop distance (p=.033 and p=.002). Knee extension was greater in 2 m stop distance than 4 m (p=.003). Hip abduction and internal-rotation were greater in 2 m stop distance than 4 m (p=.043 and p=.006).
Conclusion: Based on our results, we suggest that make greater snowplow angle and edging angle on the shorter stop distance. In this situation, ankle joint adduction/inversion angle and Hip joint internal-rotation make greater snowplow angle, and Hip joint abduction make greater edging angle. Also, greater knee joint extension angle may lead to more posteriorly positioned center of mass.

Keywords: Alpine ski, Snowplow, Pflug fahren, Stop distance

Introduction

알파인 스키는 알프스 산악지방의 이동수단으로 시작되어, 현재는 가파른 설면을 빠르게 내려오는 스포츠로 발전되었다. 알파인 스키에 관한 연구는 추위와 경사진 설면에서 행해지는 환경적인 영향으로 측정의 어려움에도 불구하고, 이를 극복하기 위한 수년간의 정밀한 측정의 발전을 통해 다양한 측면에서의 연구가 이뤄지고 있다. 하지만 대부분의 연구는 엘리트 알파인 스키 선수들의 경기력 향상을 위해 이루어졌고(Gilgien,

Crivelli, Spörri, Kröll & Müller, 2015; Supej, Hébert-Losier & Holmberg, 2015), 일반 스키어의 기술향상을 위한 새로운 스키 기술과 교수법을 개발하는 인터스키(inter-ski) 영역에서는 중·상급 스키어를 대상으로 하는 운동역학적 연구가 주로 이뤄지고 있다(Kim, Jeon, et al., 2014; Kim, Yoo, et al., 2014; Müller et al., 1998). 하지만 국내의 경우 연간 스키장 이용객이 660 만명을 넘어서고 있고 대부분의 스키장 이용객이 초보자임에도 불구하고, 초보 스키어의 스킹에 대한 정량적인 연구가 많이 이뤄지지 않기 때문에 대부분의 스키 강사들은 초보 스키어의 기술향상을 위한 정성적인 강습 가이드라인에 의존하는 어려움에 있다(The Ministry of Culture, Sports and Tourism [MCST], 2008).

알파인 스키는 눈으로 덮인 산을 미끄러져 내려오기 때문에 속도와 방향을 조절하는 것에 주된 목적이 있고, 알파인 스키를 처음 접하는 초보 스키어의 경우 속도를 줄이기 위한 기본 제동기술인 스노우플로우(snowplow or pflug fahren)를 배우게 된다(Hintermeister, O'Connor, Lange, Dillman, & Steadman, 1997; Kuna, Dzajic, & Males, 2015). 스노우플로우는 양쪽 스키 플레이트를 A 모양(A-shape)으로 유지하여 추진력에 의해 발생하는 관성에 대한 지속적인 저항을 발생시키는 것을 목적으로 하는 기술로, 보통 느린속도나 2-4 m 정도의 짧은 거리의 완경사에서 사용되며, 더 빠른속도나 급경사에서는 스키 플레이트를 평행으로 모아 사이드 슬라이딩을 이용해 제동하게 된다(Lind & Sanders, 2004). 스노우플로우는 스키 플레이트의 측면으로 미끄러져 내려오기 때문에 스키 플레이트의 에지(edge)로 설면을 파해치는 힘(plowing force)에 의해 속도를 제어할 수 있게 된다. 스노우플로우를 이용한 속도제어 시, 에징(edging)과 A 모양의 크기가 클수록 파헤치는 힘에 의한 제동력이 증가된다. 따라서 일반적으로 초보자에게 스노우플로우를 가르칠 경우, 파헤치는 힘을 증가시키기 위해 두 개의 스키 플레이트가 이루는 각도(snowplow angle)와 에징각도(edging angle)를 크게 해야하고, 이를 위해 무릎을 굽히고 양 무릎을 모으도록 요구한다(Lind & Sanders, 2004). 하지만 이러한 스노우플로우의 강습 가이드라인은 알파인 스키 전문가들의 경험적 지식에 의한 것으로 정량적 분석에 의한 검증이 이뤄지지 않았다.

알파인 스키 상해는 주로 활주 중에 낙상으로 인해 발생하거나, 방향전환이나 제동의 실수로 인한 타 스키어 및 장애물과의 접촉사고로 인해 발생하게 된다(McBeth, Ball, Mulloy, & Kirkpatrick, 2009). 특히 초보자의 경우 스노우플로우 수행 시 제동에 실패하여 충돌하거나, 스키 플레이트 뒤쪽으로 균형성(balance)를 잃으면서 전방십자인대 손상이 발생되는 사고가 빈번하게 일어난다(Ettlinger, Johnson, & Shealy, 1995). 이러한 사고를 예방하기 위한 기초기술의 정량적 분석을 위해 Kim (2004, 2006)은 숙련자와 비숙련자의 스노우플로우 동작을 비교분석하여 하지관절각도 및 신체중심의 이동에 관하여 보고하였다. 하지만 슬로프에서 발생하는 사고는 매우 짧은 순간에 발생하기 때문에 사고예방을 위해 요구되는 제동거리에 따른 기술이 요구됨에도 불구하고, 제동거리에 대한 변수를 고려하지 못하였기 때문에 스키어가 제동거리 조절에 요구되는 운동역학적 요인에 일반화 시키는데 어려움이 있다. 또한 알파인 스키에서 각 하지의 3 차원 움직임이 스키 플레이트와 설면 사이에 발생하는 제동력을 직접적으로 변화시킴에도 불구하고(Klous, Müller, & Schwameder, 2012; Koo, Lee, Kweon, Hyun, & Eun, 2014; Müller & Schwameder, 2003), 각 하지관절의 자유도를 고려한 3 차원 운동학적 분석이 이뤄지지 않았다. 따라서 본 연구의 목적은 초보 스키어들이 제동거리를 조절하는데 요구되는 올바른 스노우플로우 동작을 습득하기 위해 스노우플로우 수행 시 2 m 와 4 m 제동거리에 따른 하지의 3 차원 운동학적 차이를 조사하는 것이다.

Method

1. Participants

본 연구의 연구대상자는 스노우플로우를 이상적으로 수행할 수 있는 대한스키지도자연맹 소속 강사 6 명으로 선정하였다. 모든 피험자는 하지 근골격계에 이상이 없는 남자 성인(나이: 25.3±1.5 yrs, 신장: 169.3±2.9 cm, 몸무게: 66.2±5.9 kg, 경력: 4.2±2.9 yrs)이 대상자로 참여하였다. 모든 피험자들은 실험에 참여하기 전 실험절차에 대한 설명을 충분히 한 후, 동의서를 통해 참가에 동의한 강사에 한해 실험을 진행하였다.

2. Measurements

모든 스키어는 충분한 시간동안 준비운동과 스노우플로우 연습을 실시한 뒤, 평균경사 -10°의 정설된 슬로프에서 스노우플로우를 이용해 정지하였다. 알파인 스키에서 스노우플로우를 이용한 제동은 느린속도에서 수행되고, 일반적으로 2-4 m 사이에서 제동이 이뤄지기 때문에, 2 m 를 급제동거리(sudden stop distance), 4 m 를 일반제동거리(normal stop distance)로 가정하여 구간을 설정하였다. 이때 모든 스키어는 각 제동거리 당 3 번의 스노우플로우를 실시하였다(Figure 1). 동작수행구간은 20 m 길이의 활주구간(run phase)과 2, 4 m 길이의 제동구간(stop phase)으로 설정하였으며, 이때 활주구간에서의 진입속도는 timing lights (Seed tech, Korea)를 이용해 3.5 m/s 로 통제하였다. 동작분석을 위해 11 대의 적외선 카메라(Oqus 300, Qualisys, Sweden, sampling rates 100 Hz)를 설치하였다. 반사마커는 각 관절점 및 분절말단에 부착하고, 각 분절의 중심에 클러스터를 부착하여 총 37 개의 반사마커를 사용해 하지분절에 대한 모델링을 실시하였다. 또한 스키 플레이트를 모델링 하기 위해 좌·우 스키 플레이트에 8 개의 반사마커를 부착하였다(Figure 2).

Figure 1. Experimental set-up (left) and the two different stop distances of snowplow (right).

Figure 2. Marker set-up for the ski-plate, foot and shank..

3. Data processing

적외선 카메라를 통해 수집된 반사마커에 대한 영상분석을 실시하기 위해 Visual3D (C-motion, USA)와 Matlab R2009b (The mathwork, USA)을 사용하였다. Non-linear transformation (NLT) 방식으로 변환된 반사마커의 3 차원 좌표값은 Butterworth 2th low-pass filter 를 사용하여 노이즈를 제거하였으며, 이때 차단주파수는 12 Hz 로 설정하였다.
분석변인으로 스노우플로우 각도, 에징각도 및 발목, 무릎, 엉덩관절의 3 차원 각도를 산출하였다. 스노우플로우를 이용한 제동은 추진력에 의해 발생하는 관성에 대하여 지속적으로 저항하기 위한 동작이기 때문에, 정지구간 동안의 평균값을 계산하였고, 3 번의 시도에 대한 값의 평균을 각 피험자의 동작을 대표하는 값으로 사용하였다. 모든 분절과 관절의 3 차원 각도는 standing trial 에서 획득한 각 분절 및 관절의 3 차원 마커 자료를 기반으로 분절중심점에 단위벡터를 위치시켜 Joint Coordinate System 을 설정하고, Cardan Xyz rotation sequence (x: medial-lateral, y: anterior-posterior, z: vertical)를 사용하여 계산하였다(Cole, Nigg, Ronsky, & Yeadon, 1993). 모든 하지관절 각도는 근위분절을 기준으로 원위분절이 나타내는 각도로 정의하였다. 이때 발은 부츠에 고정되기 때문에 부츠의 움직임으로 발의 움직임을 대변하고, 하퇴에 부착한 클러스터와의 상대각을 발목관절의 움직임으로 정의하였다. 또한 스노우플로우 각도는 좌우 스키 플레이트가 A 모양을 이룰 때 수직축에서 나타나는 사잇각으로 정의하였고, 에징각도는 스키 플레이트의 전후축에서 나타나는 각도로 정의하였다(Figure 3).

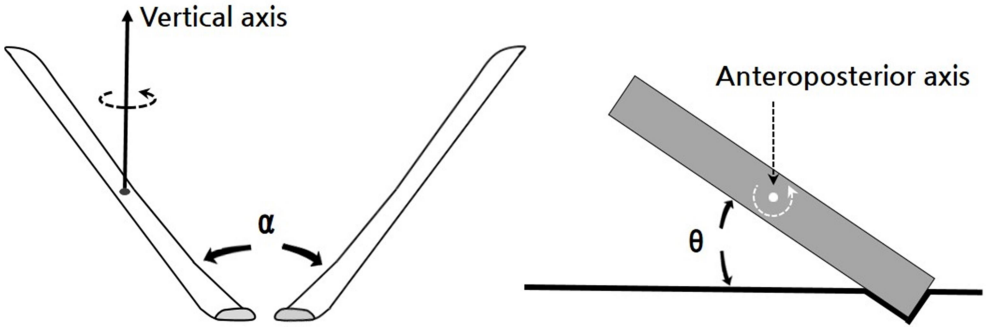

Figure 3. Definition for ski-plate angle. α is snowplow angle (left) and θ is edging angle (right).

4. Statistical analysis

본 연구에서 모든 변인은 스노우플로우를 이용한 2 m 제동과 4 m 제동 간의 유의한 차이를 검증하기 위해, 제동구간에서 수집된 자료의 평균값을 대응표본 t-test 를 실시하여 분석하였다. 이때 유의수준은 α=.05 로 설정하였다.

Results

1. 스키 플레이트 각도(ski plate angle)

스노우플로우 각도는 2 m 제동거리에서 66.7±3.1°, 4 m 제동거리에서 57.3±3.93°로, 4 m보다 2 m 제동거리에서 유의하게 크게 나타났다(t=4.610, p=.006; Figure 3). 에징각도는 2 m 제동거리에서 35.4±3.1°, 4 m 제동거리에서 29.5±4.7°로, 4 m보다 2 m 제동거리에서 유의하게 크게 나타났다(t=4.829,

p=.005; Figure 4).

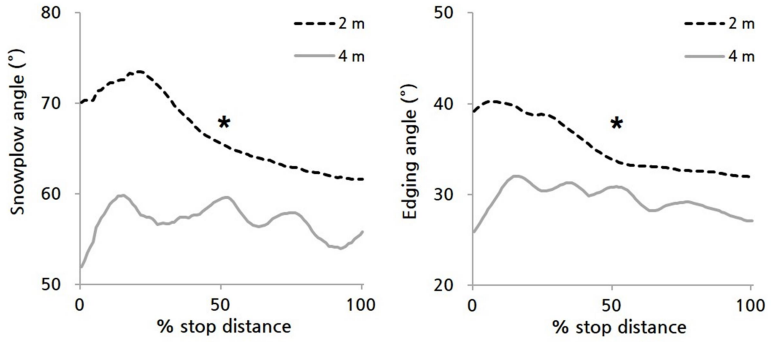

Figure 4. Ensemble averaged snowplow angle and Edging angle are shown between 2 and 4 m snowplow. All data were time normalized to 100% of the stop differences. Statistical significance effects were calculated using paired t-test. Asterisk indicates a statistical difference between two conditions.

2. 하지관절 각도(lower-extremities joint angle)

2.1 발목관절 각도(ankle joint angle)

발목관절의 내전각도는 2 m 제동거리에서 11.6±4.9°, 4 m 제동거리에서 9.1±6.0°로, 4 m보다 2 m 제동거리에서 유의하게 크게 나타났다(t=2.923, p=.033). 발목관절의 내번각도는 2 m 제동거리에서 12.9±2.4°, 4 m 제동거리에서 12.2±2.2°로, 4 m보다 2 m 제동거리에서 유의하게 크게 나타났다(t=5.884, p=.002). 반면, 발목각도의 배측굴곡각도는 2 m 제동거리에서 118.4±4.4°, 4 m 제동거리에서 118.4±3.8°로, 제동거리 간에 유의한 차이를 나타내지 않았다(t=-.052, p=.961; Figure 5).

2.2 무릎관절 각도(knee joint angle)

무릎관절의 굴곡각도는 2 m 제동거리에서 54.2±3.7°, 4 m 제동거리에서 58.1±4.2°로, 4 m보다 2 m 제동거리에서 유의하게 작게 굴곡(크게 신전)되었다(t=-5.884, p=.003). 반면, 무릎관절의 외전각도는 2 m 제동거리에서 5.9±3.7°, 4 m 제동거리에서 7.9±8.0°로, 제동거리 간에 유의한 차이를 나타내지 않았다(t=-1.032, p=.349). 무릎각도의 내회전각도는 2 m 제동거리에서 13.0±8.4°, 4 m 제동거리에서 16.4±3.8°로, 제동거리 간에 유의한 차이를 나타내지 않았다(t=-1.453, p=.206; Figure 5).

2.3 엉덩관절 각도(hip joint angle)

엉덩관절의 외전각도는 2 m 제동거리에서 27.9±4.4°, 4 m 제동거리에서 24.5±2.1°로, 4 m보다 2 m 제동거리에서 유의하게 크게 나타났다(t=2.699, p=.043). 엉덩관절의 내회전각도는 2 m 제동거리에서 35.0±3.2°, 4 m 제동거리에서 27.0±6.7°로, 4 m보다 2 m 제동거리에서 유의하게 크게 나타났다(t=4.644, p=.006). 반면, 엉덩관절의 굴곡각도는 2 m 제동거리에서 53.9±12.0°, 4 m 제동거리에서 53.0±7.2°로, 제동거리 간에 유의한 차이를 나타내지 않았다(t=.372, p=.725; Figure 5).

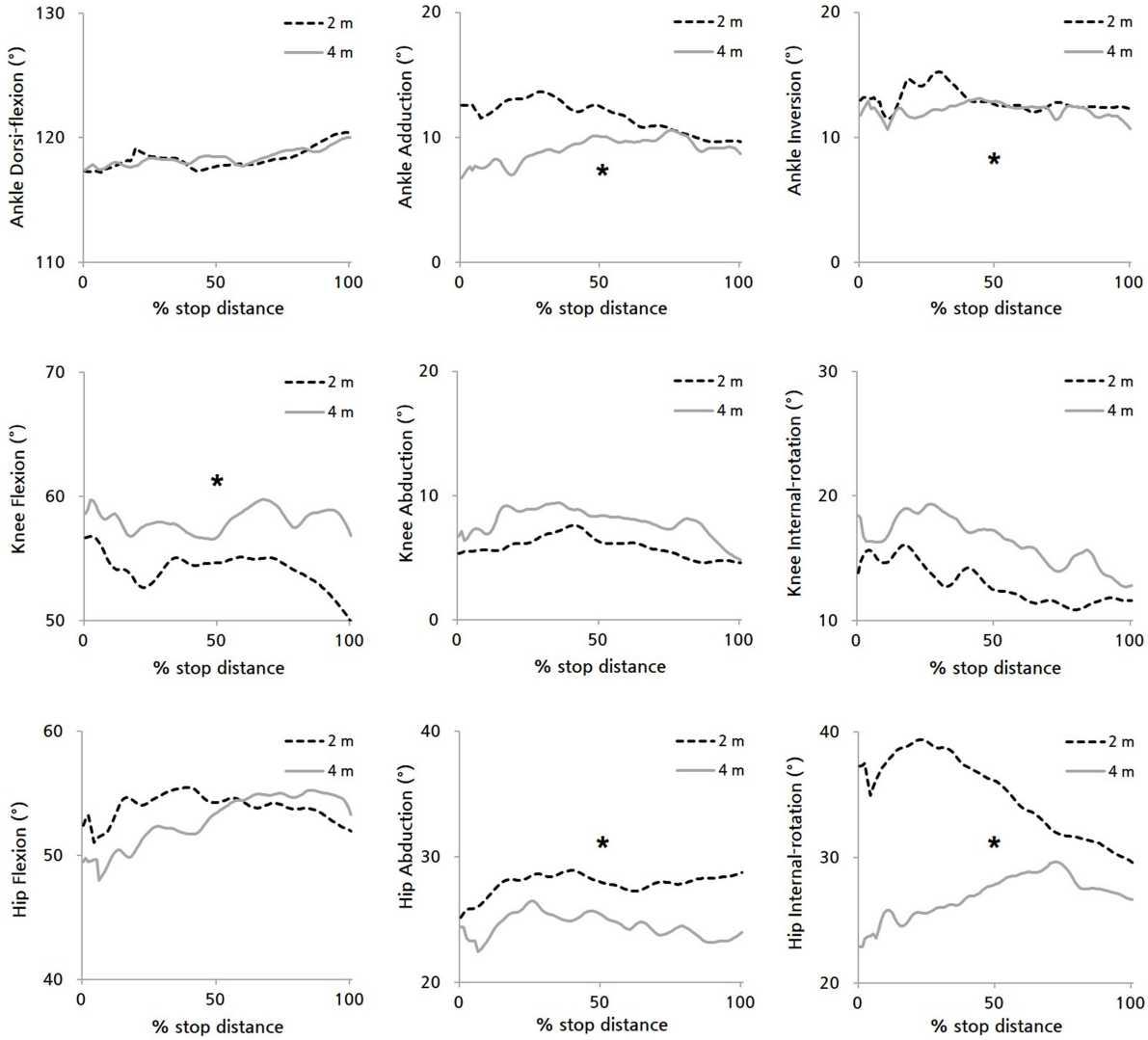

Figure 5. Ensemble averaged lower extremities angle are shown between 2 and 4 m snowplow. All data were time normalized to 100% of the stop differences. Statistical significance effects were calculated using paired t-test. Asterisk indicates a statistical difference between two conditions.

Discussion

알파인 스키는 경사진 설면을 빠른 속도로 내려오는 스포츠로, 스키 플레이트의 제어를 통한 제동 및 터닝을 기반으로 다양한 기술들이 발전되어 왔다. 그 중에서 알파인 스키에 처음 입문하는 생활스키어(recreational skier)의 경우, 타 스키어 및 장애물과의 충돌이나 활주 중에 낙상에 의한 사고를 방지할 수 있는 스노우플로우 습득을 통해 다양한 상황에 대처할 수 있는 제동 능력을 갖추는 것이 필수적이다. 또한 이런 알파인 스키 기술은 다양한 근육 간의 협응을 필요로 하고(Hintermeister et al., 1997), 하지 관절의 3 차원 움직임이 복합적으로 이뤄진다. 따라서 본 연구에서는 초보 스키어들이 제동거리를 조절하는데 요구되는 올바른 스노우플로우 동작을 습득하기 위한 3 차원 운동학적 패턴을 정량화하여 비교하고자 하였다.

스노우플로우는 양쪽 스키 플레이트를 A 모양으로 만들어 파헤치는 힘(plowing force)에 의해 설면과 에지 사이의 저항으로 제동력을 얻게 된다(Lind & Sanders, 2004). 파헤치는 힘은 A 모양이 클수록, 즉 양쪽 스키 플레이트 사이의 각도로 정의된 스노우플로우 각도가 클수록 증가된다. 스노우플로우 각도는 양쪽 스키 플레이트의 팁(tip)과 테일(tail)을 넓힌 정도에 따라 결정되며, 이때 올바른 A 모양은 팁을 모은 상태로 테일만 넓히는 것이다. 따라서 팁을 모은 상태에서 테일 간의 거리에 의해 스노우플로우 각도가 결정되고, 본 연구결과에서 보여지듯이 더 많은 제동력이 요구되는 상황에서 테일 간의 거리를 넓혀 스노우플로우 각도를 크게 해야만 한다(Kim 2004, 2006).

파헤치는 힘은 양쪽 스키 플레이트의 에징각도가 증가할 때 역시 커지게 된다(Lind & Sanders, 2004). 파헤치는 힘은 스키 플레이트의 옆면으로 스키딩(skidding)이 발생할 때 생성되는 것으로, 그 힘은 마찰력(friction force)으로 정의할 수 있다. 이때 마찰력은 스키의 에지와 설면 사이에서 발생하며, 침투력(penetration force)과 전단력(shear force)으로 나뉜다(Mössner et al., 2014; Figure 6). 스키딩이 발생할 때 에징각도가 클수록 스키 플레이트의 에지가 설면에 수직으로 작용하는 침투력이 강해지기 때문에 침투깊이(penetration depth)가 증가하게 되고, 이것이 증가하는 것에 비례하여 마찰계수(coefficient of friction, μ)의 증가로 전단력도 증가하게 된다(Mössner, Nachbauer, Innerhofer, & Schretter, 2003). 즉, 에징각도가 증가할수록 스키 플레이트와 설면 간의 마찰력이 증가하게 되고, 본 연구결과와 같이 제동거리가 짧을수록 에징각도를 증가시켜 더 큰 마찰력을 만들어 내야 한다.

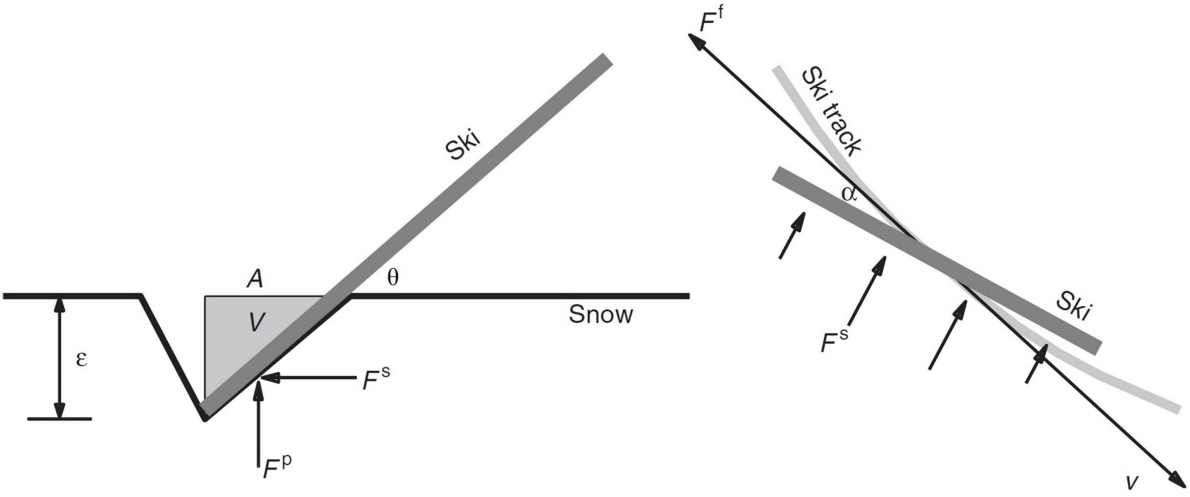

Figure 6. Snow contact forces acting on the ski. F^p, penetration force; F^s, shear force; F^f, friction force; ε, penetration depth of the ski edge; θ, edging angle; α, attack angle of the ski; V, the displaced volume of snow by the ski; and A, contact area between ski and snow projected to the undisturbed snow surface of the hill (Mössner et al., 2014).

스키 플레이트를 이용해 스노우플로우 각도와 에징각도를 조절하기 위해서는 여러 하지관절의 복합적인 3 차원 움직임이 요구된다. 본 연구에서 발목관절의 운동학적 분석결과는 스노우플로우 수행 시 제동거리가 짧을수록

발목이 내전(adduction)되는 동시에 내번(inversion) 되는 것으로 나타났다. 발목관절을 이용해 스키 플레이트를 조작하는데 있어, 에징각도를 증가시키기 위해서는 발목을 외번(eversion)시켜야 하고, 스노우플로우 각도를 증가시키기 위해서는 발목을 내전시켜야 한다. 하지만 Kim (2004, 2006)은 스노우플로우 수행 시 에징각도는 무릎과 엉덩관절의 움직임에 의해 결정되고, 발목의 움직임은 기여하지 않는다고 보고하였다. 또한 발목은 빗축(oblique axis)을 회전축으로 움직이기 때문에, 내전과 내번이 함께 일어나거나 외전과 외번이 함께 일어난다(Neumann, 2013). 발목관절의 움직임이 에징각도에 기여하지 않고, 본 연구결과와 같이 빗축을 회전축으로 하여 외전과 외번이 함께 일어난 것으로 보아, 스노우플로우 수행 시 제동거리가 짧을수록 에징각도 보다는 스노우플로우 각도를 만드는데 발목관절이 기여하게 된다.

일반적으로 알파인 스키 현장에서는 스노우플로우 동작 시 에징각도를 증가시키기 위해 무릎관절을 내회전(internal rotation)시킴과 동시에 굴곡(flexion)시키는 것으로 알려져있다(Lind & Sanders, 2004). 하지만 본 연구결과에서는 반대로 제동거리가 짧을수록 무릎관절을 신전(extension)시키는 것으로 나타나, 무릎관절을 이용해 에징각도를 증가시키려는 동작은 나타나지 않았다. 또한 Kim (2004, 2006)은 스노우플로우 수행 시 제동거리가 짧을수록 신체중심을 뒤쪽에 위치하여, 스노우플로우 각도를 크게하는 과정에서 발생하는 스키 플레이트 테일 부분에 하중을 전달한다고 보고하였다. 따라서 본 연구결과에서 짧은 제동거리에서 무릎관절이 신전된 것은 테일부분에 하중을 전달하기위해 신체중심을 뒤로 이동시키기 위한 노력으로 볼 수 있다.

스노우플로우에서 고관절의 3 차원 움직임은 스키 플레이트의 에징각도와 스노우플로우 각도를 결정하는 주된 움직임으로 볼 수 있다. 본 연구결과에서 엉덩관절은 제동거리가 짧을수록 외전(abduction)됨과 동시에, 내회전(internal rotation)되는 것으로 나타났다. 이때 엉덩관절의 외전은 관상면(frontal plane)에서 발목이나 무릎에 비해 더 큰 관절가동범위(hip-joint abduction: average about 40°)를 갖고 있기 때문에(Neumann, 2013), 대퇴를 포함한 하지분절을 외전시켜 스키 플레이트의 에징각도를 증가시키는데 주된 작용을 한다(Kim, 2004, 2006). 또한 엉덩관절의 내회전 역시, 수평면(transverse plane)에서 발목이나 무릎에 비해 더 큰 관절가동범위(hip-joint internal-rotation: average about 35°)를 갖고 있어(Neumann, 2013), 하지분절을 내회전시켜 스노우플로우 각도를 증가시키는데 주된 작용을 한 것으로 생각된다.

초보스키어를 대상으로 한 스노우플로우 강습에 있어, 기존에는 스키 플레이트의 조작에 관해서만 강습이 이뤄졌다. 위 연구결과를 바탕으로, 엉덩관절의 움직임과 무릎, 발목관절의 움직임을 활용한 강습이 이뤄진다면 초보스키어가 스키 플레이트를 조작하고 기술을 시현하는데 도움이 될 것이라 생각된다. 또한 초보 스키어가 스노우플로우를 이용한 제동기술을 익히게 되면, 그 다음으로 기초 회전기술인 스노우플로우 턴(snowplow turn or pflug bogen)을 습득해야 한다. 스노우플로우 턴은 스노우플로우 자세를 유지한 상태에서 수행되기 때문에 본 연구의 결과를 바탕으로 한 3 차원 운동역학적 분석이 실시된다면, 추후 정량적인 강습 가이드라인을 마련하는데 큰 도움이 될 것이다.

Conclusion

이 연구에서는 스노우플로우 수행 시, 제동거리에 따른 하지의 3차원 운동학적 패턴을 정량화하여 비교 분석하였다. 이를 위해 스키강사 6명을 대상으로 실험을 진행하였으며, 2 m와 4 m의 제동거리에서 스노우플로우를 이용한 제동을 실시하여 스키 플레이트의 에징각도와 스노우플로우 각도 및 발목, 무릎, 엉덩관절의 3차원 각도를 분석하였다.

에징각도와 스노우플로우 각도는 4 m 보다 2 m의 제동거리에서 스노우플로우 수행 시 발목관절의 내전과 내번, 무릎 관절의 신전, 엉덩관절의 외전과 내회전이 유의하게 크게 나타났다.

이 연구결과에 따라 다음과 같은 결론을 얻었다. 스노우플로우를 이용한 제동을 시도할 때, 제동거리가 짧을수록 엉덩관절의 외전을 증가시켜 에징각도를 크게 하고, 발목관절의 내전과 내번, 엉덩관절의 내회전을 증가시켜 스노우플로우 각도를 크게하여 더 큰 제동력을 얻을 수 있도록 해야하며, 무릎을 신전시켜 스키 플레이트 테일에 하중을 전달할 수 있도록 해야한다.

향후 본 연구와 관련하여 스노우플로우 턴과 같은 다른 종목의 기술 향상을 목적으로 하는 다양한 연구를 통해 경험적 지식에 대한 정량화가 이루어져야 할 것이다.

Reference

Cole, G. K., Nigg, B. M., Ronsky, J. L., & Yeadon, M. R. (1993). Application of the joint coordinate system to three-dimensional joint attitude and movement representation: a standardization proposal. *Journal of Biomechanical Engineering*, 115(4A), 344-349.

Ettlinger, C. F., Johnson, R. J., & Shealy, J. E. (1995). A method to help reduce the risk of serious knee sprains incurred in alpine skiing. *The American Journal of Sports Medicine*, 23(5), 531-537.

Gilgien, M., Crivelli, P., Spörri, J., Kröll, J., & Müller, E. (2015). Characterization of course and terrain and their effect on skier speed in world cup alpine ski racing. *PLoS ONE*, 10(3), e0118119.

Hintermeister, R. A., O'Connor, D. D., Lange, G. W., Dillman, C. J., & Steadman, J. R. (1997). Muscle activity in wedge, parallel, and giant slalom skiing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(4), 548-553.

Kim, J. N., Jeon, H. M., Yoo, S. H., Ha, S. H., Kim, J. H., Ryu, J. S., Park, S. K., & Yoon, S. H. (2014). Comparisons of center of mass and lower extremity kinematic patterns between carved and basic parallel turn during alpine skiing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 24(3), 201-207.

Kim, J. N., Yoo, S. H., Ha, S. H., Kim, J. H., Ryu, J. S., Park, S. K., & Yoon, S. H. (2014). Comparisons of foot pressure patterns between experienced skiers and intermediate skiers during alpine skiing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 24(1), 19-26.

Kim, K. Y. (2004). A study on plfug. *Korean Journal of Sports Science*, 13(2), 531-540.

Kim, K. Y. (2006). A study on braking plfug. *Korean Journal of Sports Science*, 15(2), 325-332.

Klous, M., Müller, E., & Schwameder, H. (2012). Three-dimensional knee joint loading in alpine skiing: a comparison between a carved and a skidded turn. *Journal of Applied Biomechanics*, 28(6), 655-664.

Koo, D. H., Lee, M. H., Kweon, H. S., Hyun, B. R., & Eun, S. D. (2014). Comparisons of pflugbogen's biomechanical characteristics to develop interactive ski simulator. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 24(3), 189-199.

Kuna, D., Dzajic, S., & Males, J. (2015). Hierarchical classification of expert model for teaching of the movement of snow plow turn and snow plow bow. *Research in Physical Education, Sport & Health*, 4(2),101-105.

Lind, D. A., & Sanders, S. (2004). The physics of skiing: skiing at the triple point. New Yotk: Springer Science & Business Media.

McBeth, P. B., Ball, C. G., Mulloy, R. H., & Kirkpatrick, A. W. (2009). Alpine ski and snowboarding traumatic injuries: incidence, injury patterns, and risk factors for 10 years. *The American Journal of Surgery*, 197(5), 560-564.

Mössner, M., Heinrich, D., Schindelwig, K., Kaps, P., Schretter, H., & Nachbauer, W. (2014). Modeling the ski-snow contact in skiing turns using a hypoplastic vs an elastic force-penetration relation. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(3), 577-585.

Mössner, M., Nachbauer, W., Innerhofer, N., & Schretter, H. (2003). Mechanical properties of snow on ski slopes. In *Abstract book of the 15th international congress on ski trauma and skiing safety*, St. Moritz Switzerland. Retrived from http://sport1.uibk.ac.at/mm/publ/163--Moessner--2004--Mechanical_Properties_of_Snow_on_Ski_Slopes.pdf.

Müller, E., Bartlett, R., Raschner, C., Schwameder, H., Benko-Bernwick, U., & Lindinger, S. (1998). Comparisons of the ski turn techniques of experienced and intermediate skiers. *Journal of Sports Sciences*, 16(6), 545-559.

Müller, E., & Schwameder, H. (2003). Biomechanical aspects of new techniques in alpine skiing and ski-jumping. *Journal of Sports Sciences*, 21(9), 679-692.

Neumann, D. A. (2013). Kinesiology of the musculoskeletal system: foundations for rehabilitation. Elsevier Health Sciences.

Supej, M., Hébert-Losier, K., & Holmberg, H. C. (2015). Impact of the steepness of the slope on the biomechanics of world cup slalom skiers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10, 361-368.

The Ministry of Culture, Sports and Tourism. (2008). Survey on national leisure activity. Retrieved from http://vstat.culturestat.mcst.go.kr/SpotfireWeb/resource/resource.html?path=/STBL-1014264/STBL-1014877