Effects of Counter Rotation Position on Knee/Hip Angulation, COM Inclination and Edging Angle in Simulated Alpine Skiing

Sukhoon Yoon[1], Jin-Hae Kim[2], Jae-Hyeon, Park[3], Jiseon Ryu[4], Sang-Kyoon Park[2], Joo-Nyeon Kim[5]

[1] Department of Community Sport, Korea National Sport University, Seoul, South Korea
[2] Department of Physical Education, Korea National Sport University, Seoul, South Korea
[3] Department of Sport and Healthy Aging, Korea National Sport University, Seoul, South Korea
[4] Department of Health and Exercise Science, Korea National Sport University, Seoul, South Korea
[5] Motion Innovation Centre, Korea National Sport University, Seoul, South Korea

Corresponding author
Joo-Nyeon, Kim M.S.
Motion Innovation Centre
Korea National Sport University
1239, Yangjae, Songpa-gu, Seoul, 05541, Korea
Tel: +82-2-410-6927, Fax: +82-2-410-6927, Email: jnkim@knsu.ac.kr

Acknowledgments
This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF-2016S1A5A2A03926063)

Abstract

Objective: The aim of this study was to investigate Rotation movement of segment for performing each position and their effect on knee/hip angulation, COM inclination and edging angle changes.
Method: Twelve alpine skiers (age: 25.8±4.8 yrs, height: 173.8±5.9 cm, weight: 71.4±7.4 kg, career: 9.9±4.6 yrs) participated in this study. Each skier was asked to perform counter rotation position, neutral position and rotation position.
Results: Shank and thigh were less rotated in counter rotation position than in other positions, while trunk and pelvis were more counter-rotated ($p<.05$). Hip angulation, COM inclination and edging angle were significantly greater in counter rotation position than in other positions ($p<.05$)
Conclusion: Our finding proved that counter rotation position increase hip angulation, COM inclination and edging angle. Consequently, we suggest that skiers should perform to counter-rotate the trunk and pelvis relative to ski-plate direction in vertical axis for making counter rotation position. Further analysis will continue to investigate the effects of counter rotation position in real ski slope with kinetic analysis.

Keywords: Alpine ski, Counter rotation position, Angulation, Edging angle

Introduction

알파인 스키는 눈으로 덮인 경사진 산을 스키를 신고 미끄러져 내려오는 스포츠이기 때문에 속도와 방향의 조절을 위한 턴 기술(turning technique)이 지속적이고 광범위하게 발전되어 왔고, 턴 기술의 발달을 목적으로 하는 운동역학적 연구가 매우 빈번하게 이뤄지고 있다. 스키의 턴이나 활주속도는 설면(snow surface)과 스키 사이에서 발생하는 반력(reaction force)과 마찰력(friction force)에 의해 결정되며, 이 힘들은 스키어 신체중심의 상·하, 좌·우 위치 및 기울기, 스키의 에징각도(edging angle)등에 따라 변화 되어진다(Federolf et al., 2008; Supej et al., 2013). 따라서 스키어의 활주자세의 변화는 턴이 일어나는데 요구되어지는 외력(external force)의 변화에 직접적인 영향을 미치기 때문에 지도현장뿐만 아니라 알파인 스키 연구에서도 관심있게 다뤄져왔다(Yoneyama, Kagawa, Unemoto, Iizuka, & Scott, 2009).

알파인 스키는 스키를 양쪽 다리에 각각 장착하고, 턴의 진행방향을 기준으로 안쪽스키(inner ski)와 바깥스키(outer ski)로 나뉜다. 따라서 스키어가 턴을 수행 할 때 안쪽스키 혹은 바깥스키에 어느 정도의 비중으로 이용하는지에 따라 턴의 성질이 달라지게 된다. Kim, Yoo, 등 (2014), Kröll, Wakeling, Seifert와 Müller (2010), Stricker, Scheibera, Lindenhofera와 Müllera (2010), Vaverka, Vodickova와 Elfmark (2012)의 연구에 따르면, 중급스키어는 안쪽스키에 더 많은 부하가 가해지지만, 상급스키어는 바깥스키에 더 많은 부하가 가해지고, 대퇴부의 근활성 역시 바깥다리에서 더 크게 나타났다고 보고하면서 바깥스키의 쓰임을 강조하였다. 따라서 바깥스키의 에징은 설면마찰(snow friction)을 변화를 통해 활주형태에 직접적인 영향을 미치게 된다.

바깥스키의 에징각도는 턴의 반경을 결정한다. 스키딩턴의 경우 스키의 측면으로 미끄러짐이 발생하고, 이때 에징각도가 클수록 더 큰 설면마찰이 발생시키기 때문에 더 짧은 반경의 턴이 만들어 진다. 또한 카빙턴의 경우 사이드컷에 의존하여 스키가 구부러지는 정도에 따라 턴의 반경이 결정되기 때문에, 에징각도가 클수록 스키가 더 많이 구부러지게 되어 작은 반경의 턴을 수행할 수 있게 된다. 따라서 제한된 반경으로 설치된 기문을 통과하는 알파인 스키 경기나 경사나 지형에 맞는 턴을 수행하는 레크리에이션 알파인 스키에서 성공적인 활주는 에징각도의 조절능력에 달려있고, 에징각도는 스키어의 움직임에 의해 결정된다(Federolf et al., 2008; Federolf, Luthi, Roos, & Dual, 2010; Heinrich, Mössner, Kaps, & Nachbauer, 2010, 2011; Müller et al., 1998; Yoneyama et al., 2009).

스키어는 더 작은 반경으로 활주하기 위해 더 큰 에징각도를 필요로 하고, 이를 위해 신체중심을 턴의 안쪽 방향으로 더 많이 기울이는 동작을 수행하며, 이는 턴 구간 중 최대경사선을 지난 터닝구간에서 더욱 유의하게 나타난다(Müller et al., 1998; Spörri, Kröll, Schwameder, Schiefermüller, & Müller, 2012). 또한 스키딩을 이용해 활주하는 베이직 페러렐턴에 비해 빠른 속도와 스키의 구부러짐에 의존하는 카빙턴에서 더 큰 에징각도를 필요로 하기 때문에, 카빙턴 수행 시 신체중심을 더 크게 기울이는 움직임을 나타낸다(Kim, Jeon, et al., 2014). 에징을 위해 신체중심을 턴의 안쪽으로 기울이는 것은 여러 관절의 움직임이 복합적으로 작용하는 것의 결과이며, 이러한 동작을 앵귤레이션(angulation)이라 한다(Lind & Sanders, 2004). 앵귤레이션은 무릎 앵귤레이션(knee angulation)과 힙 앵귤레이션(hip angulation)으로 나뉘며, 이는 무릎관절과 엉덩관절이 스키가 활주하는 방향에 수직으로 형성되는 운동면의 투영각으로 정의된다(Supej, 2010). 신체중심 기울기와 비슷하게 큰 에징각도가 요구되는 최대경사선 이후의 터닝구간에서 더욱 큰 것으로 보고되어 지고 있다(Supej, Hébert-Losier & Holmberg, 2015).

일반적으로 알파인 스키에서 턴의 방향을 기준으로 상체를 바깥쪽으로 향하도록 하는 자세를 외향자세(counter rotation position), 같은 방향을 향하도록 하는 자세를 중립자세(neutral position) 그리고 안쪽을 향하도록 하는 자세를 내향자세(rotation position)라 한다(LeMaster, 2010; Lind & Sanders, 2004). 이 중에서 외향자세는 에징각도를 증가시키기 위해 신체중심 기울기를 크게하고, 무릎과 힙 앵귤레이션을 증가시키기 위해 선호되어 지고 있다(Greenwald, Senner, & Swanson, 2001; Müller et al., 1998). 그럼에도 불구하고, 외향자세가 어떠한 분절의 움직임을 통해 일어나는지, 또한 무릎이나 힙 앵귤레이션과 신체중심 기울기, 에징각도에 어떠한 영향을

미치는지에 대한 정량적인 연구가 이뤄지지 않아 경험적인 지식에 의존하고 있는 실정이다.
알파인 스키에 관한 운동역학적 연구에 있어 추위와 경사진 설면 같은 환경적 요인뿐만 아니라, 빠른 속도 및 넓은 운동범위와 같은 종목특성으로 인해 실험적 어려움이 존재하기 때문에, 스키 시뮬레이터를 이용한 연구나 (Koo, Lee, Kweon, Hyun & Eun, 2014; Lee, Roh & Kim, 2016; Nam & Woo, 2007), 로봇을 이용한 연구 (Federolf, Roos, Lüthi, & Dual, 2010; Mössner et al., 2014; Yoneyama et al., 2009) 또는 실험실 상황에서 알파인 스키를 시뮬레이션하여 그 연구결과를 실제상황에 일반화하기 위한 연구가 진행되고 있다(Böhm & Senner, 2008; Demšar, Duhovnik, Lešnik & Supej, 2015; Nedergaard et al., 2014). 본 연구는 실험실 상황에서 외향자세, 중립자세, 내향자세에 따라 수직축에서 발생하는 분절의 움직임과 그것이 무릎과 힙 앵귤레이션, 신체중심 기울기, 에징각도의 변화에 미치는 영향을 조사하는데 목적이 있다.

Methods

1. Participants

본 연구의 연구대상자는 외향자세, 중립자세, 내향자세를 이상적으로 수행할 수 있는 대한스키지도자연맹 소속 강사 6 명과 대한스키협회 소속 알파인 스키 선수 6 명이 대상자로 참여하였다. 모든 피험자는 하지 근골격계에 이상이 없는 성인남자(나이: 25.8±4.8 yrs, 신장: 173.8±5.9 cm, 몸무게: 71.4±7.4 kg, 경력: 9.9±4.6 yrs)로 선정하였다. 모든 피험자들에게 실험에 참여하기 전 실험절차에 대한 설명을 충분히 한 후, 동의서를 통해 참가에 동의한 스키어에 한해 실험을 진행하였다.

2. Measurements

스킹자세를 시뮬레이션하기 위해, 15°의 경사에서 X축을 스키의 방향으로, Y축을 원심력(centrifugal force)이 발생하는 방향으로 설정하여 기준축(reference axis)으로 정의하였다. 이때 경사의 표면은 스키의 에지 사이에서 충분한 마찰을 제공하기 위해 고무재질로 덮었다(Figure 1).
각 피험자는 충분한 준비운동과 자세 연습을 수행한 후, 개인이 소장하고 있는 스키와 부츠를 장착하고, 좌·우 상·하지, 몸통 골반, 총 12개 분절과 스키를 모델링하기 위해 반사마커 37개를 부착한 후, 3가지 자세(counter rotation position, neutral position, rotation position)을 실시하였다. 각 스키어는 왼쪽방향으로 턴을 수행하고, 이때 경사에 의해 발생하는 반력을 스키와 설면사이에서 발생하는 반력으로 가정하였으며, 이 반력에 대응하는데 요구되는 수준의 에징 및 신체중심기울기 수행하기 위한 외향자세, 중립자세, 내향자세를 실시하였다.
자세에 따른 운동학적 분석을 위해 적외선 카메라(Oqus 300^{+}, Qualysis, Sweden) 8대를 사용하였고, 이때 촬영 속도는 100 Hz 로 설정하여 Qualysis Track Manager ([QTM], Qualysis, Sweden) 프로그램을 이용해 통제하였다.

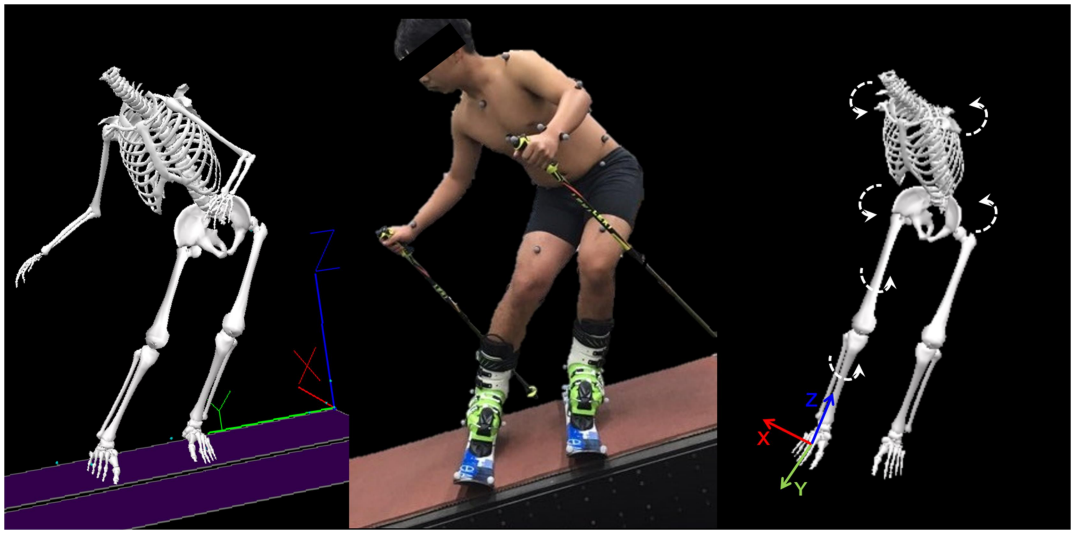

Figure 1. Experimental setup and definition of rotation angle for simulated alpine skiing. X-axis was indicated the direction of ski-plate and Y-axis is indicated the direction of centrifugal force. The 15° sloped surface was covered with a rubber material providing enough friction between surface and ski-edge. Rotation angles were defined the segment orientation angle relative to ski orientation angle on vertical axis.

3. Data processing

적외선 카메라를 통해 수집된 모든 스키어의 마커 데이터는 Visual3D (C-motion, USA)를 사용해 영상분석을 실시하였다. 모든 마커의 3차원 좌표값은 2nd order Butterworth low-pass filter를 사용해 노이즈를 제거하였으며, 이때 차단주파수는 6 Hz로 설정하였다.

알파인 스키는 두 대의 스키를 양발에 착용하여 활주하지만, 상급스키어 일수록 턴의 방향을 기준으로 바깥 스키를 이용해 활주하기 때문에 대부분의 알파인 스키 연구에서 바깥스키를 기준으로 분석을 실시한다(Kim, Yoo, et al., 2014; Kröll et al., 2010; Stricker et al., 2010; Vaverka et al., 2012). 본 연구에서는 각 자세에서 분절의 회전동작(rotation movement)를 분석하기 위해, 수직축에서 나타나는 스키의 방향각(orientation angle)을 기준으로 몸통(trunk), 골반(pelvis), 바깥다리의 대퇴(thigh)와 하퇴(shank)의 방향각을 회전각(rotation angle)으로 정의하였다. 또한, 스키의 수직으로 형성된 면에서 발생하는 바깥 다리의 무릎관절와 엉덩관절의 투영각을 무릎과 힙 앵귤레이션으로 정의하였으며, 바깥스키 질량중심(outer-ski center of mass [outer-ski COM])의 수직축을 기준으로 신체중심(whole body COM)이 기울어진 각도를 신체중심 기울기(COM inclination)로 정의하였다(Supej et al., 2015). 에징각도는 스키의 전후축(anteroposterior axis) 움직임으로 정의하였다.

4. Statistical analysis

각 변인은 외향자세, 중립자세, 내향자세에 따라 운동학적 요소들의 유의한 차이를 검증하기 위해 one way ANOVA with repeated measure를 실시하였고, 사후검정은 Bonferroni correction을 사용하였다. 이때 유의수준은 α=.05로 설정하였다.

Results

1. 분절회전각(segment rotation angle)

하퇴회전각(shank rotation angle)은 외향자세에서 4.00±3.69°, 중립자세에서 7.08±0.77°, 내향자세에서 8.64±1.36°로, 자세 간에 유의한 차이가 나타났다($F_{2,33}$=13.368, p=.000). 사후검정에서는 내향자세에서 외향자세(p=.001)와 중립자세(p=.010)에 비해 유의하게 회전(rotation)되는 것으로 나타났다(Figure 2).
대퇴회전각(thigh rotation angle)은 외향자세에서 6.26±10.31°, 중립자세에서 11.35±1.78°, 내향자세에서 13.48±3.66°로, 자세 간에 유의한 차이가 나타났다($F_{2,33}$=6.728, p=.005). 사후검정에서는 내향자세에서 외향자세(p=.019)와 중립자세(p=.042)에 비해 유의하게 회전되는 것으로 나타났다(Figure 2).
골반회전각(pelvis rotation angle)은 외향자세에서 -26.65±10.92°, 중립자세에서 3.86±6.30°, 내향자세에서 21.63±9.93°로, 자세 간에 유의한 차이가 나타났다($F_{2,33}$=729.005, p=.000). 사후검정에서는 외향자세에서 중립자세(p=.000)와 내향자세(p=.000)에 비해 유의하게 역회전(counter rotation)되는 것으로 나타났다. 또한 내향자세에서 중립자세에 비해 유의하게 회전되는 것으로 나타났다(p=.000, Figure 2).
몸통회전각(trunk rotation angle)은 외향자세에서 -54.34±19.03°, 중립자세에서 1.94±7.66°, 내향자세에서 43.04±7.09°로, 자세 간에 유의한 차이가 나타났다($F_{2,33}$=515.833, p=.000). 사후검정에서는 외향자세에서 중립자세(p=.000)와 내향자세(p=.000)에 비해 유의하게 역회전되는 것으로 나타났다. 또한 내향자세에서 중립자세에 비해 유의하게 회전되는 것으로 나타났다(p=.000, Figure 2).

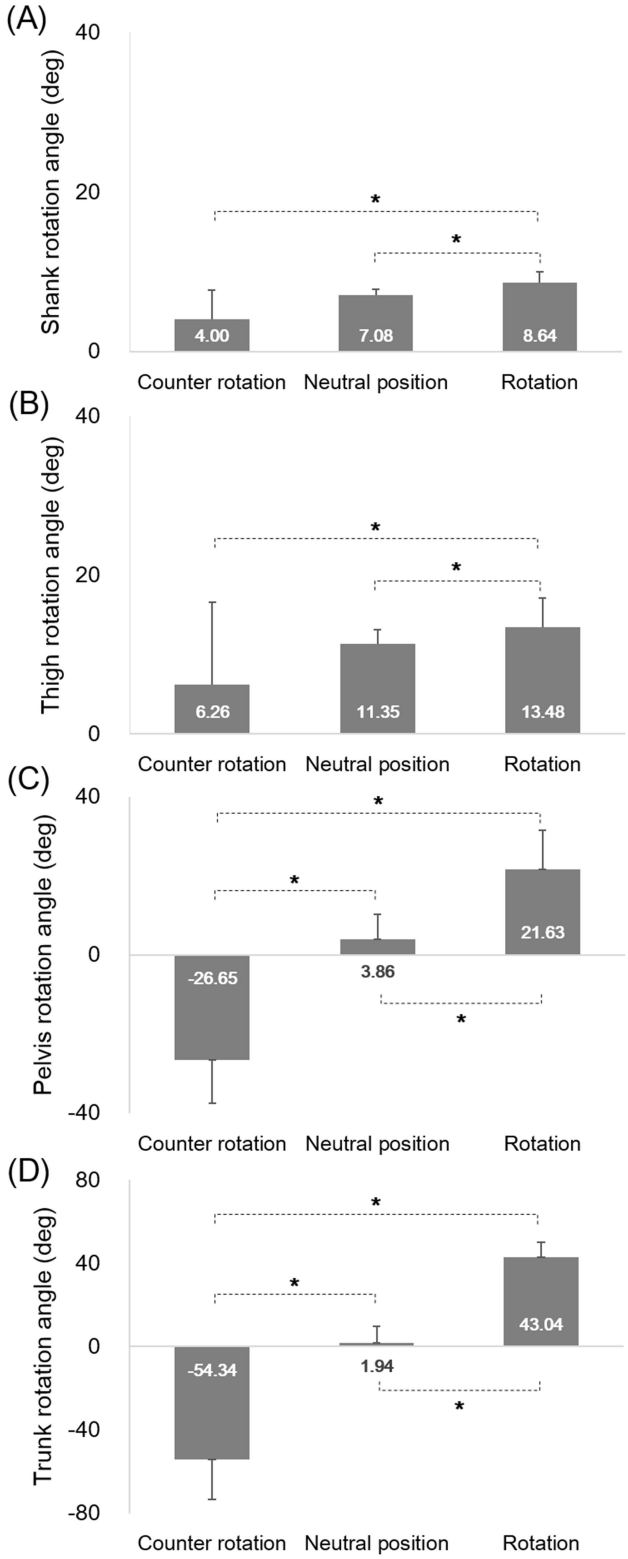

Figure 2. Rotation angle of outer (A) shank, (B) thigh, (C) pelvis and (D) trunk between 3 different positions(counter rotation position, neutral position, rotation position). Statistical significance effects were calculated using one-way repeated ANOVA with Bonferroni correction. Asterisk indicates a statistical difference between three conditions.

2. 무릎, 힙 앵귤레이션(Knee and hip angulation)

무릎 앵귤레이션은 자세 간의 유의한 차이가 나타나지 않은($F_{2,33}$=2.103, p=.146) 반면, 힙 앵귤레이션은 외향자세에서 -35.97±4.61°, 중립자세에서 3.68±3.80°, 내향자세에서 -14.67±3.04°로, 자세 간에 유의한 차이가 나타났다($F_{2,33}$=878.222, P=.000). 사후검정에서는 외향자세에서 중립자세(p=.000)와 내향자세(p=.000)에 비해 유의하게 크게 나타났다. 또한 중립자세에서 내향자세에 비해 유의하게 크게 나타났다(p=.000, Figure 2).

3. 신체중심기울기(COM inclination)

신체중심기울기는 외향자세에서 29.42±6.71°, 중립자세에서 26.69±6.28°, 내향자세에서 26.24±6.52°로, 자세 간에 유의한 차이가 나타났다($F_{2,33}$=14.609, p=.000). 사후검정에서는 외향자세에서 중립자세(p=.001)와 내향자세(p=.008)에 비해 유의하게 크게 나타났다(Figure 2).

4. 에징각도(edging angle)

에징각도는 외향자세에서 27.72±2.61°, 중립자세에서 15.74±4.98°, 내향자세에서 9.42±3.51°로, 자세 간에 유의한 차이가 나타났다($F_{2,33}$=164.124, p=.000). 사후검정에서는 외향자세에서 중립자세(p=.000)와 내향자세(p=.000)에 비해 유의하게 크게 나타났다. 또한 중립자세에서 내향자세에 비해 유의하게 크게 나타났다(p=.000, Figure 2).

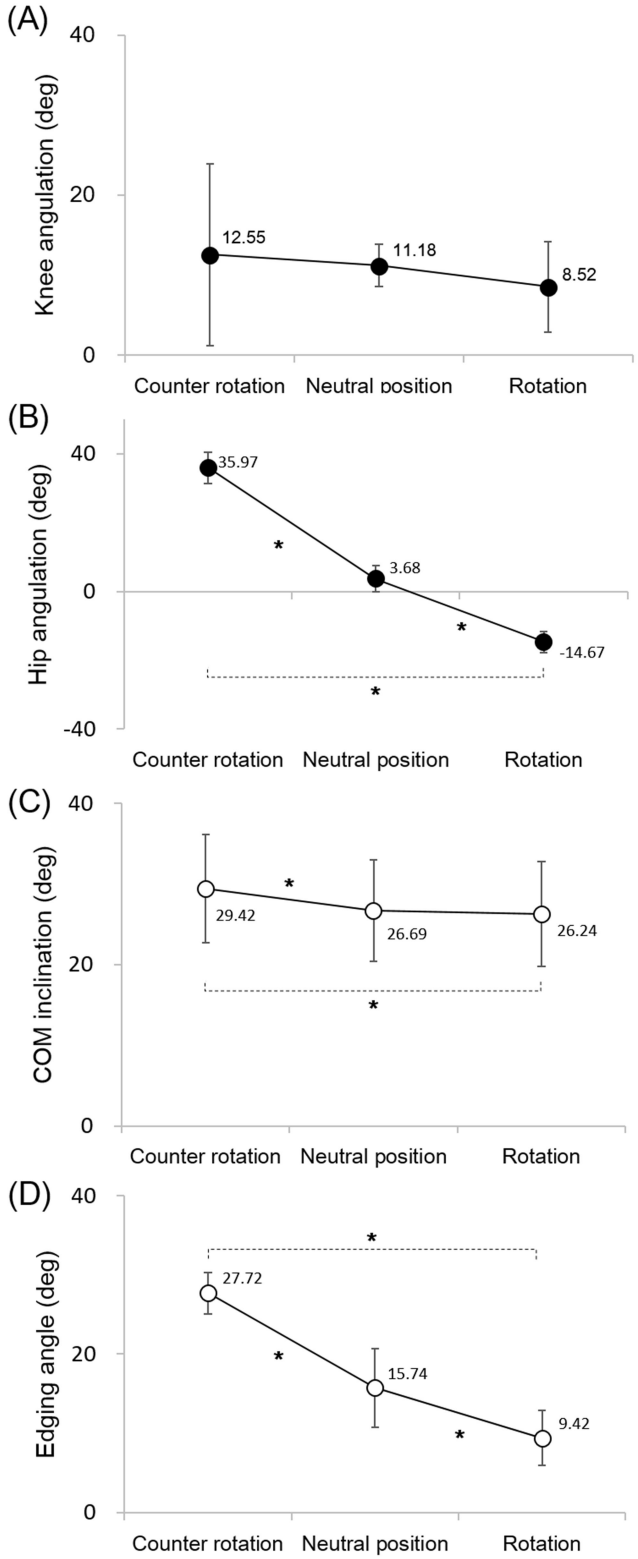

Figure 3. (A) Knee and (B) hip angulation, (C) COM inclination and (D) edging angle between 3 different positions (counter rotation position, neutral position, rotation position). Statistical significance effects were calculated using one-way repeated ANOVA with Bonferroni correction. Asterisk indicates a statistical difference between three conditions.

Discussion

알파인 스키는 활주속도와 방향을 조절하는 것에 중점을 두는 스포츠로, 스키어의 움직임을 통해 스키를 제어하기 위한 다양한 기술들이 발전되어 왔다. 그 중에서 중·상급 생활체육스키어(recreational skier)나 레이싱 선수들은 빠른 활주속도와 짧은 반경의 턴을 수행하기 위해 무릎 및 힙 앵귤레이션을 이용해 신체중심기울기를 증가시켜 더 큰 에징각도를 만들어 내려고 노력한다(Federolf, Roos, et al., 2010; Mössner et al., 2014). 이때 대부분의 스키어는 앵귤레이션과 신체중심기울기 및 에징각도의 더 큰 변화를 위해 외향자세를 선호하고 있다(LeMaster, 2010, Lind & Sanders, 2004). 따라서 본 연구의 목적은 알파인 스키 시뮬레이션을 통해 외향자세, 중립자세, 내향자세 간에 분절 움직임의 차이를 분석하고, 이것이 무릎과 힙 앵귤레이션, 신체중심기울기, 에징각도의 변화에 미치는 영향을 조사하고자 하였다.

알파인 스키에서는 분절의 회전을 이용해 스키에 회전력을 가하려는 기술로 다리회전(leg rotation), 힙회전(hip rotation), 상체회전(upper-body rotation)이 이뤄진다(LeMaster, 2010). 다리회전은 바깥다리를 턴의 안쪽방향으로 돌려내는 것과 동시에 상체를 바깥방향으로 회전시키는 동작으로, 턴이 이뤄지는 방향으로 토크(torque)를 발생시켜 스키의 방향각(steering angle)을 크게 만들기 때문에 현대스키에서는 스키딩턴(skidding turn)을 수행하기 위한 주요기술로 사용된다. 반면에 상체회전과 힙회전은 스키를 턴의 안쪽방향으로 회전(pivoting)시키기 위해 상체나 골반을 턴의 안쪽방향으로 돌려내는 동작으로, 스키를 측면으로 미끄러트리기(skidding or lateral projection) 위해 사용되었던 전통적인 턴 기술(classic turning technique)로 현대스키에서는 지양하는 기술이다. 본 연구결과에서 외향자세는 다른 자세에 비해 하퇴와 대퇴가 적게 회전되는 반면, 골반과 몸통은 스키의 방향에 비해 더 크게 역회전되는 것으로 나타났다. 따라서 스키딩턴을 수행하는데 있어 몸통과 골반이 다리와 함께 회전되어 상체회전과 힙회전이 동시에 발생하는 내향자세 또는 중립자세 보다는, 다리회전만을 수행하는 외향자세를 이용해 토크를 발생시켜 활주해야만 한다(LeMaster, 2010). 또한 현대스키에서 대부분의 스키어는 아주 짧은 반경이나 제동이 필요한 급경사에서의 스킹과 같이 몇몇 특수한 상황을 제외하고는, 활주속도가 빠르고 턴과 턴 사이의 전환이 빠른 카빙턴(carving turn)을 더 선호한다. 스키딩턴은 스키와 설면 사이의 마찰을 구심력(centripetal force)으로 이용하는 반면, 카빙턴은 스키의 휘어짐(bending)에 의존하기 때문에 스키딩턴에 비해 더 많은 에징각도가 요구된다. 따라서 스키어는 에징각도를 증가시키기 어려운 중립자세나, 에징각도를 증가시키는데 한계가 있는 내향자세를 이용한 카빙턴 보다는, 분절의 역회전을 이용한 외향자세를 통해 에징각도를 증가시켜야만 한다(Lind & Sanders, 2004).

무릎과 힙 앵귤레이션은 활주방향에 수직으로 투영된 면에서 나타나는 무릎관절과 엉덩관절 각도로 정의되고, 이는 스키의 관상면(frontal plane)의 움직임과 같은 운동면에서의 움직임이기 때문에 에징각도에 직접적인 영향을 미치는 동작이다(LeMaster, 2010; Supej, 2010; Supej et al., 2015). 일반적으로 스키어의 앵귤레이션은 스키의 에징각도를 조절하기 위해 사용되고, 가속도가 큰 가파른 경사에서 턴을 수행하거나 반경이 짧은 턴을 수행할 때와 같이 큰 에징각도가 요구되는 경우, 스키어는 더 큰 앵귤레이션을 만들어 활주해야만 한다(Howe, 2001; Lind & Sanders, 2004; Supej et al., 2015). 무릎 앵귤레이션은 신체중심의 변화없이 무릎을 안쪽으로 비트는(cranking) 동작으로, 경첩관절(hinge joint)의 특성상 과도한 무릎 앵귤레이션을 시도할 경우 에징각도를 증가시키는 동작과는 무관하게 무릎이 굴곡되기 때문에 현대스키에서는 지양하는 동작이다. 반면, 힙 앵귤레이션은 신체중심의 움직임이 없이 바깥다리의 대퇴골두(the head of the femur)를 턴의 안쪽으로 이동시키는 동작으로, 바깥스키(outer ski)의 좀 더 안쪽에지에 힘을 전달할 수 있기 때문에 무릎 앵귤레이션 보다 더 중요한 동작으로 여겨지고 있다(LeMaster, 2010). 본 연구결과에서는 자세 간에 무릎 앵귤레이션의 차이는 나타나지 않은 반면, 힙 앵귤레이션은 외향자세 수행 시 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이는 경사면이나 턴의 반경에 따라 무릎 앵귤레이션이 변화되는 반면(Howe, 2001; Supej et al., 2015), 외향자세에 의한 영향은 적은 것으로 판단된다. 반대로 힙 앵귤레이션은 경사면이나 턴의 반경뿐만 아니라 외향자세에 의한 영향 역시 크게 받는다. 따라서 스키어는 설면에 접촉하여 반력이 작용하는 바깥쪽

스키의 안쪽에지에 효과적으로 힘을 전달하기 위해 외향자세를 통해 힙 앵귤레이션을 증가시켜 활주해야만 한다(Federolf, Lüthi, et al., 2010; Federolf, Roos, et al., 2010; Mössner et al., 2014).

신체중심기울기는 자전거나, 스케이트 등 턴이 이뤄지는 대부분의 스포츠에서 구심력을 발생시키거나 원심력에 대응하기 위해 사용된다. 하지만 추가적으로 알파인 스키에서는 앵귤레이션과 마찬가지로 에징각도를 증가시키기 위해 수행되기 때문에, 가파른 경사나 빠른 활주속도 또는 반경이 짧은 턴을 수행할수록 더 증가된다(Howe, 2001; Kim, Jeon, et al., 2014; Spörri et al., 2012). 본 연구의 결과에서는 외향자세 수행 시 신체중심기울기가 유의하게 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 외향자세는 신체중심을 턴의 안쪽으로 더 기울이기 때문에 에징각도를 증가시켜 더 큰 구심력을 발생시킴과 동시에, 원심력에 대응하는데 유리하게 작용할 수 있을거라 생각된다.

에징각도는 설면경사 대한 스키의 수평면 기울기로 정의되며, 에징각도가 클수록 스키와 설면 사이에 발생하는 반력(reaction force)을 증가시키고 스키의 휘어짐(deflection)을 크게 만들기 때문에 턴의 반경을 결정하는데 가장 중요한 요소로 여겨진다(Brown, 2009; Federolf, Lüthi, et al., 2010; Federolf, Roos, et al., 2010). 에징각도를 조절하기 위해 알파인 스키어는 신체중심을 턴의 안쪽으로 기울이거나, 무릎 및 힙 앵귤레이션을 사용한다. 본 연구에서는 외향자세 수행 시 에징각도가 12° 이상 증가한 반면, 신체중심기울기는 3° 이하로 증가하였고, 힙 앵귤레이션은 32° 이상 증가하였다. 이는 힙 앵귤레이션을 증가시키기 위해 외향자세가 필수적으로 요구되며(Lind & Sanders, 2004), 신체중심의 적은 이동에도 불구하고 큰 에징각도를 만드는데 외향자세가 매우 유용하다고 판단된다. 따라서 스키어는 경사가 가파르거나, 활주속도가 빠르고 반경이 짧은 턴을 수행할 때 신체중심을 턴의 안쪽으로 기울이는 동작뿐만 아니라, 외향자세를 통해 힙 앵귤레이션을 크게하여 에징각도를 증가해야만 한다.

본 연구는 외향자세에 대한 움직임과 이것이 미치는 영향에 관해 조사하기 위해 실험실 상황에서 알파인 스키 시뮬레이션을 실시하였다. 따라서 본 연구의 제한점은 (1) 설면과 스키 사이에서 발생하는 상호작용과정이 간소화되고, (2) 동적인 스킹에서 발생하는 구간별(initiation and steering phase) 특성을 고려하지 못하였으며, (3) 다양한 슬로프의 경사도나 활주속도에 의한 차이를 고려하지 못한 것이다. 따라서 추후 현장실험를 통해 동적인 상황에서 발생하는 외향자세의 영향에 대한 연구수행뿐만 아니라, 운동역학적 분석(kinetical analysis)을 통해 스키와 설면사이에 발생하는 반력 및 회전력에 관한 조사를 실시한다면, 알파인 스키 경기력 향상 및 교수법 개발에 필요한 정량적 가이드라인을 마련하는데 큰 도움이 될 것이다.

Conclusion

이 연구에서는 알파인 스키의 외향자세, 중립자세, 내향자세에 따라 수직축에서 발생하는 분절의 움직임을 분석하고, 그것이 무릎과 힙 앵귤레이션, 신체중심 기울기, 에징각도의 변화에 미치는 영향에 관하여 비교분석 하였다. 이를 위해 12명의 스키어가 실험에 참여하였으며, 15°의 경사에서 알파인 스키를 시뮬레이션하여 분석을 실시하였다.

외향자세 수행 시 대퇴와 하퇴가 유의하게 적게 회전되었고, 몸통과 골반은 유의하게 크게 역회전 되었다. 또한 힙 앵귤레이션과 신체중심기울기, 에징각도는 외향자세 수행 시 유의하게 증가되었다.

이 연구결과에 따라 에징각도를 크게하기 위해서는, 몸통과 골반의 역회전을 이용해 외향자세를 만들어 힙 앵귤레이션과 신체중심기울기를 증가시켜야 한다.

향후 현장실험 및 운동역학적 분석을 통해 스키어의 자세가 스키의 움직임 및 회전에 요구되는 힘의 변화에 대한 정량화가 이뤄져야 할 것이다.

Reference

Brown, C. A. (2009). Modeling edge-snow interactions using machining theory. Science and skiing IV, UK: Meyer & Meyer Sport, 175-182.

Böhm, H., & Senner, V. (2008). Effect of ski boot settings on tibio-femoral abduction and rotation during standing and simulated skiing. *Journal of Biomechanics*, 41(3), 498-505.

Brodie, M., Walmsley, A., & Page, W. (2008). Fusion motion capture: a prototype system using inertial measurement units and GPS for the biomechanical analysis of ski racing. *Sports Technology*, 1(1), 17-28.

Demšar, I., Duhovnik, J., Lešnik, B., & Supej, M. (2015). Multi-axis prosthetic knee resembles alpine skiing movements of an intact leg. *Journal of Sports Science & Medicine*, 14(4), 841-848.

Federolf, P., Roos, M., Lüthi, A., & Dual, J. (2010). Finite element simulation of the ski-snow interaction of an alpine ski in a carved turn. *Sports Engineering*, 12(3), 123-133.

Federolf, P., Scheiber, P., Rauscher, E., Schwameder, H., Lüthi, A., Rhyner, H. U., & Müller, E. (2008). Impact of skier actions on the gliding times in alpine skiing. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18(6), 790-797.

Federolf, P., Lüthi, A., Roos, M., & Dual, J. (2010). Parameter study using a finite element simulation of a carving alpine ski to investigate the turn radius and its dependence on edging angle, load, and snow properties. *Sports Engineering*, 12(3), 135-141.

Greenwald, R., Senner, V., & Swanson, S. (2001). Biomechanics of carving skis. *Schweizerische Zeitschrift fur Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 49(1), 40-44.

Heinrich, D., Mössner, M., Kaps, P., & Nachbauer, W. (2010). Calculation of the contact pressure between ski and snow during a carved turn in Alpine skiing. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(3), 485-492.

Heinrich, D., Mössner, M., Kaps, P., & Nachbauer, W. (2011). A parameter optimization method to determine ski stiffness properties from ski deformation data. *Journal of Applied Biomechanics*, 27(1), 81-86.

Hirano, Y. (2006). Quickest descent line during alpine ski racing. *Sports Engineering*, 9(4), 221-228.

Howe, J. (2001). The new skiing mechanics: including the technology of short radius carved turn skiing and the claw ski. Waterford.

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.

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.

Kröll, J., Wakeling, J. M., Seifert, J. G., & Müller, E. (2010). Quadriceps Muscle Function during Recreational Alpine Skiing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(8), 1545-1556.

Krüger, A., & Edelmann-Nusser, J. (2010). Application of a full body inertial measurement system in alpine skiing: A comparison with an optical video based system. *Journal of Applied Biomechanics*, 26, 516-521.

Lee, H. T., Roh, H. L., & Kim, Y. S. (2016). Kinematic characteristics of the lower extremity during a simulated skiing exercise in healthy participants. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(2), 626-631.

LeMaster, R. (2010). Ultimate skiing. Champaign, IL: Human Kinetics.

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

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.

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.

Nam, C. H., & Woo, B. H. (2007). Kinematical analysis of up-down motion in ski simulator. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 17(3), 41-49.

Nedergaard, N. J., Heinen, F., Sloth, S., Hébert-Losier, K., Holmberg, H. C., & Kersting, U. G. (2014). The effect of light reflections from the snow on kinematic data collected using stereo-photogrammetry with passive markers. *Sports Engineering*, 17(2), 97-102.

Scott, N., Yoneyama, T., Kagawa, H., & Osada, K. (2007). Measurement of ski snow-pressure profiles. *Sports Engineering*, 10(3), 145-156.

Spörri, J., Kröll, J., Schwameder, H., Schiefermüller, C., & Müller, E. (2012). Course setting and selected biomechanical variables related to injury risk in alpine ski racing: an explorative case study. *British Journal of Sports Medicine*, bjsports-2012.

Stricker, G., Scheibera, P., Lindenhofera, E., & Müllera, E. (2010). Determination of forces in alpine skiing and snowboarding: Validation of a mobile data acquisition system. *European Journal of Sport Science*, 10(1), 31-41.

Supej, M. (2008). Differential specific mechanical energy as a quality parameter in racing alpine skiing. *Journal of Applied Biomechanics*, 24(2), 121-129.

Supej, M. (2010). 3D measurements of alpine skiing with an inertial sensor motion capture suit and GNSS RTK system. *Journal of Sports Sciences*, 28(7), 759-769.

Supej, M., & Holmberg, H. C. (2010). How gate setup and turn radii influence energy dissipation in slalom ski racing. *Journal of Applied Biomechanics*, 26(4), 454-464.

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 & Performance*, 10(3), 361-368.

Supej, M., Kipp, R., & Holmberg, H. C. (2011). Mechanical parameters as predictors of performance in alpine World Cup slalom racing. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21(6), e72-81.

Supej, M., Saetran, L., Oggiano, L., Ettema, G., Šarabon, N., Nemec, B., & Holmberg, H. C. (2013). Aerodynamic drag is not the major determinant of performance during giant slalom skiing at the elite level. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(1), e38-47.

Vaverka, F., Vodickova, S., & Elfmark, M. (2012). Kinetic analysis of ski turns based on measured ground reaction forces. *Journal of Applied Biomechanics*, 28(1), 41-47.

Yoneyama, T., Kagawa, H., Unemoto, M., Lizuka, T., & Scott, N. W. (2009). A ski robot system for qualitative modelling of the carved turn. *Sports Engineering*, 11(3), 131-141.

Yoneyama, T., Scott, N., Kagawa, H., & Osada, K. (2008). Ski deflection measurement during skiing and estimation of ski direction and edge angle. *Sports Engineering*, 11(1), 3-13.