

Original Article

# Impact of Injury Prevention Video Feedback on Biomechanical Variables of the Knee Joint during Cutting Maneuver

Mi-so Lee, Sung-min Kim and Jeheon Moon\*

Korea National University of Education

## Article Info

Received 2023. 10. 31.

Revised 2023. 12. 12.

Accepted 2023. 12. 12.

## Correspondence\*

Jeheon Moon

jhmoon@knue.ac.kr

## Key Words

Cutting maneuver, Knee joint,  
Injury, Video feedback,  
Motion analysis

이 논문은 2021년 대한민국 교육부와  
한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임  
(NRF-2021S1A5A8068619)

**PURPOSE** This study aims to analyze the effects of injury prevention video feedback on kinetic variables of the knee joint during the cutting maneuver. **METHODS** Twenty-eight healthy men participated and motion and force data were collected using infrared cameras, a force plate, and a Witty timing system. Paired t-tests were employed for data evaluation using the SPSS 26.0 program. **RESULTS** Results showed increased abduction and lateral rotation angles of the knee joint at the lower height of the center of mass (COM) ( $p < .05$ ). The lateral rotation of the knee joint decreased at initial ground contact ( $p < .05$ ). Flexion angular velocity increased at initial ground contact after video feedback ( $p < .05$ ) and decreased at the lower height of COM ( $p < .05$ ). Abduction angular velocity decreased at the lower height of COM ( $p < .05$ ), and internal rotation angular velocity was increased on the initial ground contact ( $p < .05$ ). Maximum ground reaction force for anterior-posterior and medial-lateral directions increased after video feedback ( $p < .05$ ). Flexion and internal rotation moments increased, and adduction moment also increased ( $p < .05$ ). **CONCLUSIONS** In conclusion, video feedback effectively reduced knee load during the cutting maneuver, contributing to injury prevention for the knee joint.

## 서론

스포츠 경기와 훈련 중에 발생하는 상해의 50% 이상은 하지관절에서 발생하며 그 중 하지관절에서의 상해가 가장 많이 발생한다(Hootman et al., 2007). 선행연구에서 구기종목(축구, 농구, 핸드볼 등) 선수들을 대상으로 상해 발생부위를 분석한 결과 연명과 종목에 관계없이 하지관절에서의 상해가 나타나 하지관절에서 상해를 예방하는 방법은 모든 스포츠에서 중요한 요소로 여겨진다(Kim et al., 2020; Lee et al., 2022; Park et al., 2016).

하지관절의 상해는 상대선수와 부딪히면서 발생하는 외력에 의해서도 발생하지만 착지와 방향전환과 같은 신체의 급격한 감속으로 인해 비접촉성으로도 많이 발생한다(Hootman et al., 2007). 특히 방향전환 동작에서는 접근속도가 증가할수록 무릎관절의 최대 굽힘과 벌림 각도가 증가하여 무릎관절에 가해지는 부하를 감소시키려는 동작이 나타난다(Lee et al., 2020). 또한 발목관절의 바깥변짐

(eversion)과 안쪽돌림(internal rotation)이 함께 일어나는 토아웃(toe-out) 상황은 무릎관절의 폼, 벌림, 안쪽돌림이 수행되기 때문에 무릎관절에 가해지는 전단력과 안쪽돌림 모멘트가 증가하여 무릎관절의 상해 위험을 높일 수 있다(Cho et al., 2010; Lee et al., 2020; Vanrenterghem et al., 2012).

최근 무릎관절의 상해로 인해 발생하는 시간과 비용의 손실은 사회적, 경제적으로 크다고 알려져 있다(Ha et al., 2014). 이러한 상해를 효과적으로 예방하기 위해서는 무릎관절의 상해 정보를 제공하여 효과적으로 수행할 수 있는 방법을 제공할 필요가 있다(McLean et al., 2005). 특히 무릎 부상을 예방하기 위해서 사이드 스텝과 점프와 같이 경기 장면과 비슷한 상황을 부여하여 무릎관절 주변의 근육을 강화시키는 운동 프로그램을 적용하면 그 효과성은 높게 나타난다(Choi et al., 2013). 하지만 훈련 프로그램의 적용기간이 늘어나게 되면 그 효과가 길지만, 시간과 노력이 많이 소요된다. 그렇기 때문에 다양한 무릎 상해 예방 프로그램 중 즉각적인 피드백을 통해 단기간에 운동기술을 변화시킬 수 있는 방법을 모색할 필요가 있다(Benjaminse et al., 2017; Milner et al., 2012; Popovic et al., 2018).

단기적으로 효과를 보기 위한 다양한 프로그램 중 대표적인 피

© 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.

드백 방법으로 언어적 피드백(verbal feedback)과 청각적 피드백(auditory feedback)을 많이 이용한다. 이와 관련된 선행연구에서는 아이들을 대상으로 점프 후 착지 시 연성착지 방법에 대해 교육하였고 교육 후 연성착지 방법을 정확하게 습득하여 신체에 가해지는 충격력이 감소하였다(Prapavessis et al., 2003). 하지만 피드백을 받고 3개월 후에 다시 연성착지를 실시한 결과 학습효과는 나타나지 않았으며 본래의 습관으로 되돌아가는 한계가 나타났다(Parsons & Alexander, 2012; Prapavessis et al., 2003). 이러한 한계를 보완하기 위해 다른 피드백 방법으로 교육 동영상을 활용한 비디오 피드백(video feedback)이 많이 선호되고 있다. 동영상을 이용한 교육은 참여자들의 흥미와 동기를 유발하면서 개인별 수준과 학습 속도를 고려하고 시간이나 공간의 제약이 없이 반복적으로 수행할 수 있다(Parsons & Alexander, 2012). 교육 동영상을 활용한 부상 예방 프로그램을 통해 운동학습이 이루어질 경우 착지 동작에 대한 운동역학적 변인의 즉각적으로 변화가 나타나 운동기술이 향상될 가능성이 크고, 이는 언어적, 시각적, 청각적 피드백을 모두 동시에 제공하기 때문에 정확한 움직임을 재현하도록 유도하여 학습효과를 극대화시킬 수 있는 장점이 있다(Parsons & Alexander, 2012; Popovic et al., 2018).

만약 방향전환 동작에 대한 올바른 방법을 동영상을 통해 제공된다면 체육 현장에서 유용하게 사용할 수 있으며, 방향전환과 같이 하지 상해가 빈번하게 발생하는 동작에 대해서는 상해 예방 효과가 클 것으로 예상된다. 따라서 본 연구의 목적은 올바른 방향전환 동작에 대한 교육 동영상을 시청한 후 무릎관절의 운동역학적 변인에 미치는 영향을 분석하는데 있다.

## 연구 방법

### 연구참여자

본 연구의 참여자는 최근 6개월 이내에 무릎관절을 포함한 상·하지 근골격계에 부상 경험이 없고, 주 2회 이상 정기적인 스포츠 활동에 참여하고 있는 체육 전공 남자 대학생 28명으로 선정하였다(age:  $25.2 \pm 4.6$  years, height:  $175.5 \pm 5.4$  cm, weight:  $71.8 \pm 7.9$  kg). 28명의 연구참여자 수는 G\*Power 3.1 프로그램을 사용하여 산출하였다(Faul et al., 2009). 본 연구는 K대학교 생명윤리위원회의 승인을

받았으며(KNUE-202206-SB-0122-01), 모든 연구참여자의 서면 동의 후에 진행되었다.

### 실험도구

연구참여자들이 방향전환 동작을 수행하는 동안 움직임을 분석하기 위해 적외선카메라(Qualisys M3, SWE) 7대를 사용하였다. 또한 지면반력 정보를 획득하기 위하여 지면반력 측정기(BERTEC, FP4060-08-2000, USA) 1대와 구간 속도를 측정하기 위해 구간속도 측정기(Witty, Microgate, ITA) 2대를 활용하였다. 운동학적 변인을 추출하기 위해 사용한 7대의 적외선카메라는 지면반력 측정기 1대를 중심으로 배치하였고, 구간속도 측정기(Witty, Microgate, ITA) 2대를 방향전환 지점 1m 전에 설치하였다(Shin, 2021). 실험 전 적외선 카메라의 전역좌표계를 형성하기 위해 캘리브레이션을 실시하였으며, 카메라의 sampling rate는 100 frames/sec, 지면반력 측정기는 1,000 Hz로 설정하였다(Hwang et al., 2017; Lee, 2016).

### 실험 절차

실험 준비가 끝난 후 연구참여자들은 가벼운 러닝을 포함한 준비운동 및 스트레칭을 수행할 수 있는 시간을 5~10분 정도 제공하였다. 그리고 선행연구를 참고하여 상·하지의 신체 주요 관절과 분절에 총 71개의 반사마커를 부착하였다(Lee et al., 2020). 실험 시 연구참여자들은 지면반력 측정기의 5m 뒤에서  $4.5 \pm 0.2$  m/s로 달린 후 오른발로 착지하였고 왼쪽으로  $35 \sim 55^\circ$  방향으로 방향전환을 실시하였다. 이후 연구참여자는 사전에 제작된 하지 운동상해 예방 동영상을 시청한 후 방향전환 동작을 재차 수행하였다. 사전 실험은 방향전환 동작을 5회 반복하여 수집하였으며, 사후 실험 또한 사전 실험과 동일한 절차로 진행하였다(Donnelly et al., 2012; Kagaya et al., 2015; Moon et al., 2018; Weinhandl et al., 2013).

### 하지 운동상해 예방 교육 동영상

방향전환 동작 시 무릎관절의 상해를 예방하기 위한 교육 동영상을 제작하기 위해 다양한 선행연구의 결과들을 참고하였다. 최종 제작된 동영상의 재생시간은 5분 가량으로 하지 운동상해 기전, 올바른

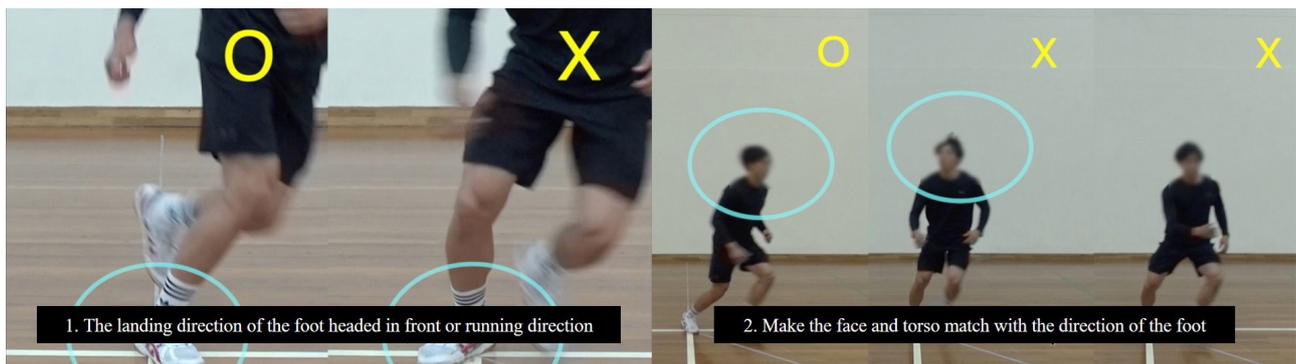


Fig. 1. Video feedback for cutting maneuver (left: Landing direction of foot, right: eye and trunk directions)

**Table 1.** Contents of video feedback to prevent lower extremity injury

Index	Time(min)	Contents
Introduction of injuries and cases	2	The mechanism of lower extremity injuries in sports
	0.5	The mechanism of lower extremity injury during cutting maneuver
Description of the cutting	1.5	1. Basic position
		2. The landing direction of the foot headed in front or running direction
		3. Make the face and torso match with the direction of the foot
		4. Increase reaction time through knee flexion when landing (soft landing)
		5. Emphasis on the abduction angle of the knee not to increase
Review	1	Full contents review

방향전환 동작과 잘못된 동작을 비교하여 구성하였다.

교육 동영상 내용으로는 먼저, 올바른 방향전환 동작을 가르치기 전에 기본자세를 숙지시켰다(Lim, 2006). 기본자세란 발을 어깨너비로 벌린 후 무릎은 편안하게 구부리고, 시선은 앞을 보고 어깨를 편 후 무게 중심이 발 볼 위에 오도록 하는 자세를 의미한다(Hewett et al., 1999; Lim, 2006). 그리고 방향전환 동작 시 발의 착지방향은 정면 또는 진행방향으로 향하고, 시선과 몸통 또한 발의 착지방향과 일치시켰다(Lee et al., 2020). 이를 통해 무릎관절의 모음 또는 별립 움직임을 최소화하고 전방십자인대, 내측측부 인대 및 반월판 손상을 예방할 수 있는 정보를 제공하였다(LaPrade et al., 2010) (Figure 1, Table 1).

**자료분석**

3차원 적외선카메라(Qualisys M3, SWE) 7대를 이용하여 획득한 원 자료(raw data)는 Qualisys Track Manager(v2.11 build 2280, SWE)을 이용하여 좌표화 작업을 수행하였다. 그리고 획득한 3차원 영상분석 원 자료는 차단주파수(Cut-off frequency)를 6Hz로 설정한 뒤 4차 버터워스 저역통과필터(4th order Butterworth low-pass filter)를 적용하였으며 지면반력 데이터는 차단주파수를 10Hz로 정한 뒤 4차 버터워스 저역통과필터를 사용하여 필터링을 진행하였다(Donnelly et al., 2012; Mudie et al., 2017; Weinhandl et al., 2011).

본 실험에서 질주 후 방향전환 동작에 대해 구체적인 분석을 위하여 체중지지구간으로 정의하였고 두가지 이벤트(Event 1, Event 2)로 나누었다. Event 1은 착지 시 오른발의 초기 지면접촉시점, Event 2는 착지 후 신체중심의 높이가 최소로 나타나는 시점으로 정의하였다(Figure 2).

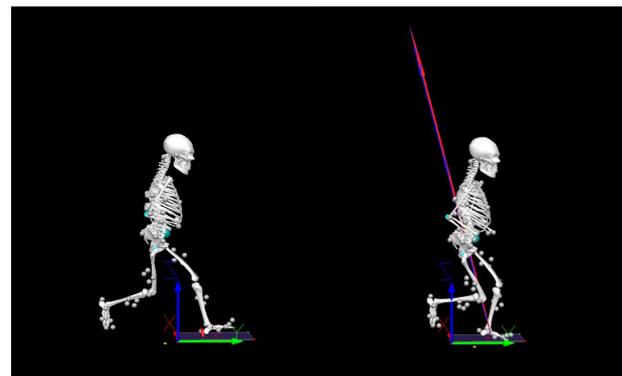
본 연구에서 종속변인으로 신체 중심의 최소 높이, 무릎관절의 각도, 각속도, 최대 지면반력, 관절모멘트, 그리고 관절력을 산출하였다. 이때 지면반력과 관절력은 연구참여자들의 체중으로, 관절 모멘

**Table 2.** The changes of vertical position of COM during cutting maneuver (Mean±SD)

Variables	Pre	Post	t	p	ES
Minimum vertical COM(m)	E1 0.874±0.037	0.870±0.048	0.697	.492	0.087
	E2 0.818±0.034	0.817±0.044	0.173	.864	0.024

COM: center of mass, ES: effect size

\*  $p < .05$



E1: Ground contact

E2: Minimum height of COM

**Fig. 2.** Definition of analysis phase

트는 체중과 신장으로 각각 표준화하였다(McLean et al., 2005).

모든 자료분석에는 Visual 3D software(C-Motion Inc., Rockville, MD, USA) 프로그램이 사용되었다.

**통계 처리**

통계처리는 Shapiro-Wilk test 결과에 의해 정규성을 확보하고 측정된 변인들의 전후 차이를 비교하기 위하여 종속 t-검증(paired t-test)을 실시하였다. 이때 통계적 유의수준은  $\alpha = .05$ 로 설정하고 모든 통계처리에는 SPSS PC+ for Windows (version 26.0) 통계 프로그램을 사용하였다. 효과크기(Effect Size)는 Cohen's d 값을 활용하였으며, d 값의 크기(0.2, 0.5, 0.8)에 따라 효과크기를 낮음, 보통, 높음으로 제시하였다(Ben-Shachar et al., 2020).

**연구결과**

**신체중심 수직위치 요인**

교육 동영상 시청 전과 후의 신체중심의 최소 수직위치를 비교한 결과, 체중지지구간 동안 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다 (Table 2).

**무릎관절 운동학적 요인**

교육 동영상 시청 전과 후의 무릎관절의 각도와 각속도 요인을 비교한 결과는 <Table 3>과 같다. 무릎관절의 별립 각도는 교육 동영상

**Table 3.** The changes of angle and angular velocity of knee joint during cutting maneuver

Variables		Pre	Post	t	p	ES	
Angle (deg)	flex	E1	-24.21±5.367	-25.06±6.337	1.108	.277	0.146
		E2	-55.51±6.084	-55.22±6.732	-0.247	.807	0.045
	abd	E1	-1.243±4.186	-2.901±3.600	3.781	<b>.001*</b>	0.425
		E2	-0.656±6.593	-2.190±5.168	1.504	.144	0.259
Ang vel (deg/s)	IR	E1	-4.675±8.565	-1.486±6.666	-3.426	<b>.002*</b>	0.415
		E2	7.470±9.167	8.257±7.797	-0.945	.353	0.092
	flex	E1	-140.6±114.8	-213.2±81.42	4.757	<b>.000*</b>	0.730
		E2	-54.11±76.29	-16.35±86.01	-2.523	<b>.018*</b>	0.464
abd & add	E1	-31.78±53.62	-26.56±43.12	-0.506	.617	0.107	
	E2	34.15±98.16	-6.285±50.00	2.388	<b>.024*</b>	0.519	
IR	E1	49.73±120.3	61.31±135.1	-4.536	<b>.000*</b>	0.868	
	E2	-49.80±140.6	-51.29±113.0	-0.057	.955	0.012	

flex: flexion, abd: abduction, IR: internal rotation, ER: external rotation \*  $p < .05$

시청 후 초기접촉시점(E1) 시 증가하였다( $t=3.781, p=.001$ ). 무릎관절의 가쪽돌림 각도는 초기접촉시점(E1) 시 감소하였다( $t=-3.426, p=.002$ ). 무릎관절 굽힘 각속도는 교육 동영상 시청 후 초기접촉시점(E1) 시 증가하였고( $t=4.757, p=.000$ ), 신체중심의 최소높이시점(E2) 시에는 감소하였다( $t=-2.523, p=.018$ ). 좌우면에서 무릎관절의 벌림 각속도는 신체중심의 최소높이시점(E2) 시 감소하였다( $t=2.388, p=.024$ ). 그리고 수평면에서의 무릎관절 안쪽돌림 각속도는 교육 동영상 시청 후 초기접촉시점(E1) 시 증가하였다( $t=-4.536, p=.000$ ).

### 지면반력 및 무릎관절 운동역학적 요인

교육 동영상 시청 전과 후의 최대 지면반력과 관절력 그리고 관절 모멘트를 추출한 결과는 <Table 4>와 같다. 좌우방향과 전후방향에서 최대 지면반력은 교육 동영상 시청 후 증가하였고(좌우측:  $t=5.501, p=.000$ ; 전후측:  $t=-3.437, p=.002$ ), 수직방향에서는 감소하였다( $t=13.686, p=.001$ ). 방향전환 동작 시 최대 관절력의 경우 수직방향은 교육 동영상 시청 후 감소하였다( $t=-3.296, p=.003$ ). 관절 모멘트는 굽힘과 안쪽돌림 모멘트가 증가하였고(굽힘:  $t=4.177, p=.000$ , 안쪽돌림:  $t=-6.724, p=.000$ ), 모음 모멘트는 감소하였다( $t=5.521, p=.000$ ).

## 논 의

본 연구의 목적은 올바른 방향전환 동작에 대한 교육 동영상을 시청한 후 무릎관절의 운동역학적 변인에 미치는 영향을 분석하는데 있고 이에 대한 논의는 다음과 같다.

무릎관절의 가쪽돌림 각도는 초기접촉시점(E1) 시 3.189° 감소하

**Table 4.** The changes of GRF and kinetic variables of knee joint during cutting maneuver

Variables		Pre	Post	t	p	ES
GRF (N/BW)	ML	-1.911±0.421	-1.192±0.111	5.501	<b>.000*</b>	1.005
	AP	4.34±0.886	4.72±0.869	-3.437	<b>.002*</b>	0.205
	V	10.54±1.360	9.249±1.265	13.686	<b>.000*</b>	0.979
force (N/BW)	ML	-1.707±1.408	-1.541±1.260	-0.971	.340	0.124
	AP	-2.169±0.921	-2.348±0.812	1.186	.246	0.205
	V	-15.10±1.632	-14.63±1.707	-3.296	<b>.003*</b>	0.280
moment (Nm/[BW ×HT])	flex	-0.338±0.193	-0.507±0.261	4.177	<b>.000*</b>	0.735
	add	0.076±0.079	-0.007±0.046	5.521	<b>.000*</b>	1.271
	IR	0.188±0.096	0.374±0.121	-6.724	<b>.000*</b>	1.708

\*  $p < .05$

였다. 이는 교육 동영상 내용 중 착지 시 발을 정면 또는 진행방향(안쪽방향)쪽으로 향하게 접촉하도록 유도한 결과로 해석할 수 있다. 선행연구에서 무릎관절이 가쪽돌림된 상태에서 급격한 갑작의 방향 전환을 하는 경우 전방십자인대 부상이 발생하였다고 보고하였으며 그렇기 때문에 접촉성 무릎 부상 방지를 위해서는 발의 정면 혹은 안쪽방향으로 착지될 필요가 있다(Boden et al., 2000; Joo et al., 2014). 특히 달리기 속도가 증가하였을 때 무릎관절에 대한 좌우면과 전후면의 불안정성이 높아지기 때문에 이러한 요소가 더욱 중요시된다(Kwon & Jung, 2007). 따라서 교육 동영상 시청을 통해 초기접촉 시 무릎의 불안정성이 감소된 것으로 사료된다.

무릎관절의 굽힘 각속도는 초기접촉시점 시 증가하였고 신체중심의 최소시점에서는 감소하였다. 또한 신체중심의 최소시점에서 벌림 각속도로 전환되었으며 안쪽돌림의 속도는 증가하였다. Brown et al.(2016)은 착지 시 나타나는 충격을 흡수하는데 무릎관절의 굽힘 속도는 가장 중요하다고 보고하였다. 반드시 굽힘 각도를 증가함으로써 충격을 최대한 흡수하는 효과가 있다. 이러한 연속착지 효과는 무릎관절이 많은 에너지를 흡수하여 다른 신체 조직에 걸리는 부하를 감소하는데 도움을 준다(Devita & Skelly, 1992). 또한 빠른 굽힘 각속도를 통해 전방으로 달려나가는 속도를 극대화시킬 수 있다(Benjaminse et al., 2017). 특히 신체중심이 낮은 상태에서 전방으로 달려나가기 위해 무릎관절을 펴는 속도는 더욱 증가하는 효과가 나타나게 된다(Devita & Skelly, 1992). 또한 동시에 진행방향으로 빠르게 이동하기 위해 벌림과 안쪽돌림의 각속도가 증가하여 올바른 방향전환 동작에 대한 교육 효과가 나타난 것으로 사료된다.

본 연구에서 하지관절 상해 예방에 대한 교육 동영상 시청이 방향 전환 동작 시 무릎관절의 운동역학적 변인에 미치는 효과를 살펴본 것이다. 좌우방향의 최대 지면반력은 교육 동영상 시청 후 1.281 N/BW 증가하였고 수직방향의 경우 1.285 N/BW 감소하였다. 방향전환 동작 시 좌우방향의 경우 지면반력 측정기에 오른발 착지 후 왼쪽으로 빠르게 진행하기 위하여 좌측으로 지면반력이 증가한 것이라고 판단된다. 수직방향의 경우 착지 시 높은 수직 지면반력과 자세의 불규칙 변화는 신체에 가해지는 부하로 인한 하지 근골격계의 부상과 밀접한 관련이 있다(Marquez et al., 2009). 생체역학적 관점에서, ACL 부상의 위험은 주로 무릎의 굽힘 각도가 작고, 지면반력

이 크며, 무릎 전단력이 클 때 증가한다(Teng et al., 2017). 이는 교육 동영상 시청 후 방향전환 동작 시 부드럽게 착지로 인한 연성착지로 인해 최대 수직 지면반력이 감소하였고, 이에 따라 무릎관절에서 더 많은 에너지를 흡수하여 하지관절의 안정성이 증가한 것으로 사료된다.

교육 동영상 시청 후 무릎관절 최대 수직 관절력은 0.468 N/BW 감소하였고 관절 모멘트는 굽힘 및 안쪽돌림 모멘트는 증가하였으며 모음 모멘트는 감소하였다. 운동기술을 향상시키기 위해 훈련 프로그램을 수행할 경우 무릎관절의 굽힘 모멘트가 감소하는 경향이 있다(Sigward & Powers, 2006). 신체가 수직방향으로 내려오는 경우 하지관절에 충격이 가해지게 되는데 이때 무릎관절의 굽힘 가동 범위를 증가시켜 무게 중심의 하강 및 무릎관절의 모멘트가 감소되고 다음 단계의 동작을 수행할 때 폭발적인 힘을 발휘하도록 도와준다(Decker et al., 2003; Dill et al., 2014; Pandey & Shelburne, 1997). 하지만 본 연구에서는 무릎관절의 굽힘 각도에 변화가 없었고 굽힘 모멘트도 교육 동영상 시청 후 0.169 Nm/(BW×HT) 증가하였다. 비록 수동적인 무릎의 굽힘 동작에서는 시상면과 수평면의 모멘트가 증가하였지만 이렇게 될 경우 무릎관절의 능동적인 폼 동작에서는 무릎의 최대 굽힘모멘트가 비교적 증가할 가능성이 크다. 이로 인해 무릎 신전근의 장력 길이는 감소하게 되며 무릎에 가해지는 부하가 감소할 가능성이 크다(Dill et al., 2014). 특히 무릎관절의 굽힘 모멘트의 증가는 진행 방향으로의 움직임을 조절하고 무릎관절을 안정시키는데 많은 도움을 준다(Kim et al., 2021). 반대로 수동적인 관절 움직임 시 무릎관절의 굽힘 모멘트의 감소는 근육의 장력을 증가시켜 전방으로의 전단력이 증가하기 때문에 전방십자인대의 부상을 야기할 수 있다(Orishimo et al., 2009). 이와 함께 모음 모멘트의 경우 동영상 교육 후 감소하였기 때문에 비교적 안정된 무릎관절의 움직임과 동시에 방향전환 동작 시 빠른 속도로 앞으로 나갈 수 있도록 야기한 것으로 판단된다.

본 연구의 제한점은 다음과 같다. 1) 통제된 실험실 상황에서 실험이 진행되었기 때문에 실제 스포츠 상황과 동작 수행에 차이가 있을 수 있다. 2) 연구참여자의 수가 많지 않아 측정결과를 일반화시키기에는 어려움이 있다. 따라서 향후 연구에서는 연구참여자의 수를 증가시켜 본 연구결과가 일반화될 필요가 있다.

## 결론 및 제언

본 연구의 목적은 올바른 방향전환 동작에 대한 교육 동영상을 시청한 후 무릎관절의 운동역학적 변인에 미치는 영향을 분석하는데 있다.

교육 동영상 시청 후 방향전환 동작 시 무릎관절의 각도는 가쪽돌림이 감소하였다. 그리고 무릎관절의 굽힘 각속도는 초기접촉시점 시 증가하였고 신체중심의 최소시점에서는 감소하였다. 또한 신체중심의 최소시점에서 별립 각속도로 전환되었으며 안쪽돌림의 속도는 증가하였다. 운동역학적 변인에서는 무릎관절의 수직 관절력이 감소하였고, 관절 모멘트는 굽힘과 안쪽돌림이 증가하였으며 모음 모멘트는 감소하였다.

본 연구에서는 하지 운동상해 예방과 관련된 교육동영상을 통해 방향전환 동작 시 무릎관절의 운동역학적 변인의 변화가 나타났다. 이를 통해 방향전환 동작 시 회전에 의한 하지 부상 위험이 감소할 것이라고 판단된다. 향후 연구에서는 방향전환 동작으로 인한 부상

을 장기적으로 예방할 수 있는 방법에 관한 연구와 예측 유무와 같이 실제 스포츠 상황과 유사하게 연구를 설계하여 많은 학생, 생활스포츠 동호인, 그리고 전문 운동선수들이 부상 없이 스포츠에 참여할 수 있을 것 기대한다.

## CONFLICT OF INTEREST

논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

## AUTHOR CONTRIBUTION

Conceptualization: Mi-so Lee, Data curation: Mi-so Lee, Sung-min Kim, Formal analysis: Sung-min Kim, Funding acquisition: Jeheon Moon, Methodology: Mi-so Lee, Jeheon Moon, Project administration: Jeheon Moon, Visualization: Mi-so Lee, Sung-min Kim, Writing-original draft: Mi-so Lee, Writing review&editing: Jeheon Moon

## 참고문헌

- Benjaminse, A., Postma, W., Janssen, I., & Otten, E. (2017). Video feedback and 2-dimensional landing kinematics in elite female handball players. *Journal of Athletic Training*, 52(11), 993-1001.
- Ben-Shachar, M. S., Lüdtke, D., & Makowski, D. (2020). Effectsize: Estimation of effect size indices and standardized parameters. *The Journal of Open Source Software*, 5(56), 2815.
- Boden, B. P., Dean, G. S., Feagin, J. A., Jr., & Garrett, W. E., Jr. (2000). Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics*, 23(6), 573-578.
- Brown, T. N., O'Donovan, M. O., Hasselquist, L., Corner, B., & Schiffman, J. M. (2016). Lower limb flexion posture relates to energy absorption during drop landings with soldier-relevant body borne loads. *Applied Ergonomics*, 52, 54-61.
- Cho, J.-H., Kim, K.-H., Moon, G.-S., Cho, Y.-J., & Lee, S.-C. (2010). Analysis of injury mechanism on ankle and knee during drop landings according to landing directions. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 20(1), 67-73.
- Choi, H.-H., Lee, D.-J., & Yu, Y.-K. (2013). The effect of lower limb training program on maximum muscular strength of lower limb and physical fitness of university soccer player. *The Korean Journal of Growth and Development*, 21(2), 83-89.
- Decker, M. J., Torry, M. R., Wyland, D. J., Sterett, W. I., & Steadman, J. R. (2003). Gender differences in lower extremity kinematics, kinetics and energy absorption during landing. *Clinical Biomechanics*, 18(7), 662-669.
- Devita, P., & Skelly, W. A. (1992). Effect of landing stiffness on joint kinetics and energetics in the lower extremity. *Medicine & Science in Sports and Exercise*, 24(1), 108-115.
- Dill, K. E., Begalle, R. L., Frank, B. S., Zinder, S. M., & Padua, D. A. (2014). Altered knee and ankle kinematics during squatting in those with limited weight-bearing-lunge ankle-dorsiflexion range of motion. *Journal of Athletic Training*, 49(6), 723-732.
- Donnelly, C. J., Lloyd, D. G., Elliott, B. C., & Reinbolt, J. A. (2012). Optimizing whole-body kinematics to minimize valgus knee loading during sidestepping: Implications for ACL injury risk. *Journal of Biomechanics*, 45(8), 1491-1497.
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., & Lang, A.-G. (2009). Statistical power analyses using G\*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 41(4), 1149-1160.
- Ha, S.-H., Kim, J.-K., Yoon, S.-H., & Park, S.-K. (2014). Analysis of lower extremity alignment and injury type in female soccer players during 2013 season. *The Asian Journal of Kinesiology*, 16(3), 127-136.
- Hewett, T. E., Lindenfeld, T. N., Riccobene, J. V., & Noyes, F. R. (1999). The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 27(6), 699-706.
- Hootman, J. M., Dick, R., & Agel, J. (2007). Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: Summary and recommendations for injury prevention initiatives. *Journal of Athletic Training*, 42(2), 311-319.
- Hwang, S.-G., Kwon, M.-S., Kim, J.-K., & Lee, Y.-S. (2017). A study on the correlation between the record of standing broad jump and the biomechanical factors. *The Korea Journal of Sports Science*, 26(2), 1257-1265.
- Joo, J.-Y., Kim, Y.-K., & Kim, J.-P. (2014). Effect of toe headings on the biomechanics of knee joint in drop landing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 24(2), 121-149.
- Kagaya, Y., Fujii, Y., & Nishizono, H. (2015). Association between hip abductor function, rear-foot dynamic alignment, and dynamic knee valgus during single-leg squats and drop landings. *Journal of Sport and Health Science*, 4(2), 182-187.
- Kim, E., Cha, J., Choi, H., & You, J. (2020). Longitudinal panel study of sports injuries in university elite athletes. *The Korean Journal of Sports Medicine*, 38(1), 43-54.
- Kim, S., Song, J., Han, S., & Moon, J. (2021). Thermotherapy and dynamic warm-up on the kinetic parameters during drop-landing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 31(4), 297-307.
- Kwon, O.-B., & Jung, C.-J. (2007). The analysis of joint motion of lower extremities to running velocities and cutting angles. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 17(1), 9-16.
- LaPrade, R. F., Bernhardson, A. S., Griffith, C. J., Macalena, J. A., & Wijdicks, C. A. (2010). Correlation of valgus stress radiographs with medial knee ligament injuries: An in vitro biomechanical study. *The American Journal of Sports Medicine*, 38(2), 330-338.
- Lee, J., Pathak, P., Panday, S. B., & Moon, J. (2020). Effect of foot-planting strategy on anterior cruciate ligament loading in women during a direction diversion maneuver: A musculoskeletal modeling approach. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 8(11).
- Lee, J.-T. (2016). Effect of arm swings on biomechanical factors during standing long jump. *The Korea Journal of Sports Science*, 25(1), 1667-1673.
- Lee, O., Park, S., & Lim, J. (2022). A study of occurrence and cause of injury during match and training for ball sports players. *The Korean Journal of Physical Education*, 61(3), 75-87.
- Lim, B.-O. (2006). Anterior cruciate ligament injury prevention program in female players. *Health & Sports Medicine ; Official Journal of KACEP*, 8(2), 113-127.
- Marquez, W. Q., Masumura, M., & Ae, M. (2009). The effects of jumping distance on the landing mechanics after a volleyball spike. *Sports Biomechanics*, 8(2), 154-166.
- McLean, S. G., Huang, X., & Van Den Bogert, A. J. (2005). Association between lower extremity posture at contact and peak knee valgus moment during sidestepping: implications for ACL injury. *Clinical Biomechanics*, 20(8), 863-870.
- Milner, C. E., Fairbrother, J. T., Srivatsan, A., & Zhang, S. (2012). Simple verbal instruction improves knee biomechanics during

- landing in female athletes. *The Knee*, 19(4), 399-403.
- Moon, J., Kim, H., Lee, J., & Panday, S. B. (2018).** Effect of wearing a knee brace or sleeve on the knee joint and anterior cruciate ligament force during drop jumps: A clinical intervention study. *The Knee*, 25(6), 1009-1015.
- Mudie, K. L., Gupta, A., Green, S., Hobara, H., & Clothier, P. J. (2017).** A comparison of vertical stiffness values calculated from different measures of center of mass displacement in single-leg hopping. *Journal of Applied Biomechanics*, 33(1), 39-47.
- Orishimo, K. F., Kremenic, I. J., Pappas, E., Hagins, M., & Liederbach, M. (2009).** Comparison of landing biomechanics between male and female professional dancers. *The American Journal of Sports Medicine*, 37(11), 2187-2193.
- Pandy, M. G., & Shelburne, K. B. (1997).** Dependence of cruciate-ligament loading on muscle forces and external load. *Journal of Biomechanics*, 30(10), 1015-1024.
- Park, J., Kim, D., Lee, W., Han, S., Yoon, H.-J., Jang, H. S., ... & Kim, D. R. (2016).** Epidemiology of Korean collegiate injuries for six sports: A pilot study, 2015. *Korean Journal of Sport Science*, 27(2), 382-401.
- Parsons, J. L., & Alexander, M. J. L. (2012).** Modifying spike jump landing biomechanics in female adolescent volleyball athletes using video and verbal feedback. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(4), 1076-1084.
- Popovic, T., Caswell, S. V., Benjaminse, A., Siragy, T., Ambegaonkar, J., & Cortes, N. (2018).** Implicit video feedback produces positive changes in landing mechanics. *Journal of Experimental Orthopaedics*, 5, 12.
- Prapavessis, H., McNair, P. J., Anderson, K., & Hohepa, M. (2003).** Decreasing landing forces in children: The effect of instruction. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 33(4), 204-207.
- Shin, J. (2021).** Effects of approach speed and foot strike patterns on lower extremities in the side cutting. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 84, 477-486.
- Sigward, S. M., & Powers, C. M. (2006).** The influence of gender on knee kinematics, kinetics and muscle activation patterns during side-step cutting. *Clinical Biomechanics*, 21(1), 41-48.
- Teng, P. S. P., Kong, P. W., & Leong, K. F. (2017).** Effects of foot rotation positions on knee valgus during single-leg drop landing: Implications for ACL injury risk reduction. *The Knee*, 24(3), 547-554.
- Vanrenterghem, J., Venables, E., Pataky, T., & Robinson, M. A. (2012).** The effect of running speed on knee mechanical loading in females during side cutting. *Journal of Biomechanics*, 45(14), 2444-2449.
- Weinhandl, J. T., Earl-Boehm, J. E., Ebersole, K. T., Huddleston, W. E., Armstrong, B. S. R., & O'Connor, K. M. (2013).** Anticipatory effects on anterior cruciate ligament loading during sidestep cutting. *Clinical Biomechanics*, 28(6), 655-663.
- Weinhandl, J. T., Smith, J. D., & Dugan, E. L. (2011).** The effects of repetitive drop jumps on impact phase joint kinematics and kinetics. *Journal of Applied Biomechanics*, 27(2), 108-115.

## 하지 운동 상해 예방 동영상 교육이 방향전환 동작 시 무릎관절의 운동역학적 변인에 미치는 영향

이미소<sup>1</sup>, 김성민<sup>2</sup>, 문제현<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국교원대학교 대학원생

<sup>2</sup>한국교원대학교 연구원

<sup>3</sup>한국교원대학교 교수

[목적] 본 연구의 목적은 올바른 방향전환 동작에 대한 교육 동영상 시청 후 무릎관절의 운동역학적 변인에 미치는 영향을 분석하는데 있다.

[방법] 최근 6개월 이내에 상·하지 근골격계에 부상 경험이 없고, 주 2회 이상 정기적인 스포츠 활동에 참여하고 있는 체육 전공 남자 대학(원)생 28명으로 선정하였다(age:  $25.2 \pm 4.6$ years, height:  $175.5 \pm 5.4$ cm, weight:  $71.8 \pm 7.9$ kg). 실험 시 연구참여자들은 지면반력 측정기의 5m 뒤에서  $4.5 \pm 0.2$ m/s로 달린 후 오른발로 착지하였고 왼쪽으로  $35 \sim 55^\circ$  방향으로 방향전환을 5회 실시하였다. 이후 연구참여자는 사전에 제작된 하지 운동상해 예방 동영상을 시청한 후 방향전환 동작을 다시 수행하였다. 측정 변인은 신체중심의 최소 높이, 무릎관절의 최대 각도 및 각속도, 모멘트, 관절력 그리고 최대 지면반력을 분석하였다. 모든 통계적 유의수준은  $p < .05$ 로 설정하였다.

[결과] 무릎관절의 벌림 각도는 동영상 교육 후 초기접촉시점 시 증가하였다( $p < .05$ ). 무릎관절의 가쪽돌림 각도는 초기 접촉시점 시 감소하였다( $p < .05$ ). 무릎관절 굽힘 각속도는 동영상 교육 후 초기접촉시점 시 증가하였고, 신체중심의 최소높이시점 시에는 감소하였다( $p < .05$ ). 무릎관절의 벌림 각속도는 신체중심의 최소높이시점 시 감소하였다( $p < .05$ ). 그리고 안쪽돌림 각속도는 동영상 교육 후 초기접촉시점 시 증가하였다( $p < .05$ ). 좌우측과 전후측에서 최대 지면반력은 동영상 교육 후 증가하였으며( $p < .05$ ), 수직축에서 최대 지면반력은 감소하였다( $p < .05$ ). 방향전환 동작 시 무릎관절의 최대 관절력의 경우 수직방향은 동영상 교육 후 감소하였다( $p < .05$ ). 관절 모멘트의 경우 동영상 교육 후 굽힘과 안쪽돌림 모멘트는 증가하였고, 모음 모멘트는 감소하였다( $p < .05$ ).

[결론] 본 연구의 결과는 하지 운동상해 예방 동영상 교육이 방향전환 동작 시 무릎관절에서 발생하는 부하가 감소하였고 비디오 피드백을 통해 무릎관절의 부상 예방에 도움이 될 수 있을 것으로 사료된다.

### 주요어

방향전환 동작, 무릎관절, 운동상해, 동영상 교육, 동작분석