

The Effects of Fibular Repositioning Taping on Joint Angle and Joint Stiffness of the Lower Extremity in Sagittal Plane during a Drop Landing

낙하 착지 시 FRT가 하지의 관절의 시상각과 강직도에 미치는 효과

Hyung-pil Jun

Department of Physical Education, Dong-A University, Busan, South Korea

Received : 01 November 2021

Revised : 22 November 2021

Accepted : 22 November 2021

Objective: To investigate effects of Fibular Repositioning Taping (FRT) on lower extremity joint stiffness and angle during drop-landing.

Method: Twenty-eight participants (14 healthy, 14 with chronic ankle instability [CAI]) performed drop-landings from a 60 cm box; three were performed prior to tape application and three were performed post-FRT. Three-dimensional kinematic and kinetic data were collected using an infrared optical camera system (Vicon Motion Systems Ltd. Oxford, UK) and force-plate (AMTI, Watertown, MA). Joint stiffness and sagittal angle of the ankle, knee, and hip were analyzed.

Results: The hip [Healthy: $p < .05$; $M \pm SD$: 29.43 ± 11.27 (pre), 33.04 ± 12.03 (post); CAI: $p < .05$; $M \pm SD$: 31.45 ± 9.70 (pre), 32.29 ± 9.85 (post)] and knee [Healthy: $p < .05$; $M \pm SD$: 53.44 ± 8.09 (pre), 55.13 ± 8.36 (post); CAI: $p < .05$; $M \pm SD$: 53.12 ± 8.35 (pre), 55.55 ± 9.81 (post)] joints demonstrated significant increases in sagittal angle after FRT. A significant decrease in joint angle was found at the ankle [Healthy: $p < .05$; $M \pm SD$: 56.10 ± 3.71 (pre), 54.09 ± 4.31 (post); CAI: $p < .05$; $M \pm SD$: 52.80 ± 6.04 (pre), 49.86 ± 10.08 (post)]. A significant decrease in hip [Healthy: $p < .05$; $M \pm SD$: 1549.16 ± 517.53 (pre), 1272.48 ± 646.73 (post); CAI: $p < .05$; $M \pm SD$: 1300.42 ± 595.55 (pre), 1158.27 ± 550.58 (post)] and knee [Healthy: $p < .05$; $M \pm SD$: 270.12 ± 54.07 (pre), 239.13 ± 64.70 (post); CAI: $p < .05$; $M \pm SD$: 241.58 ± 93.48 (pre), 214.63 ± 101.00 (post)] joint stiffness was found post-FRT application, while no difference was found at the ankle [Healthy: $p > .05$; $M \pm SD$: 57.29 ± 17.04 (pre), 59.37 ± 18.30 (post); CAI: $p > .05$; $M \pm SD$: 69.15 ± 17.63 (pre), 77.24 ± 35.05 (post)].

Conclusion FRT application decreased joint angle at the ankle without altering ankle joint stiffness. In contrast, decreased joint stiffness and increased joint angle was found at the hip and knee following FRT. Thus, participants utilize an altered shock absorption mechanism during drop-landings following FRT. When compared to previous research, the joint kinematics and stiffness of the lower extremity appear to be different following FRT versus traditional ankle taping.

Keywords: Fibular repositioning taping, Ankle sprain, Chronic ankle instability, Kinematic, Joint angle, Joint stiffness

Corresponding Author

Hyung-pil Jun

Department of Physical Education,
Dong-A University, 37, Nakdongdae-
Ro 550 Beon-Gil, Saha-Gu, Busan,
49315, South Korea

Email : hjun@dau.ac.kr

INTRODUCTION

발목 부상은 스포츠 활동에 있어서 가장 흔한 근골격계 부상이다 (Delahunt, Cusack, Wilson & Doherty, 2013). 미국에서는 매일 약 28,000명에게 발목 손상이 발생하고, 특히 가쪽 발목 염좌(lateral ankle sprain: LAS)는 모든 스포츠 손상의 80%를 차지한다(Kobayashi & Gamada, 2014). 가쪽 발목 염좌는 발목의 인대와 발목 주변 신경, 근육조직 등에 이상이 생기는 것으로 최초의 부상 이후 잔여 증상이 남거나 재발되는 확률이 73%로 매우 높다(Kobayashi & Gamada, 2014; Theisen & Day, 2019). 계속해서 발목이 빠지는 느낌이 들거나 발목의

근력 약화, 고유수용성 저하, 신경근 장애 등의 증상이 초래되면 만성 발목 불안정성(chronic ankle instability: CAI)으로 이어진다(Delahunt et al., 2013; Jun, Choi & Chang, 2021). 만성 발목 불안정성은 적어도 1년 동안 불안정성을 호소하며, 초기 치료와 관계없이 약 10~30%의 급성 손상을 입은 환자들에게서 발생한다(Sarcon, Heyrani, Giza & Kreulen, 2019).

만성 발목 불안정성 환자들은 일반적으로 정상인에게 나타나지 않는 구조적 또는 기능적 불안정성을 가진다(Kobayashi & Gamada, 2014; Sarcon et al., 2019). 구조적 불안정성은 인대, 뼈, 관절과 같은 구조물들에 이상이 생긴 상태를 말한다(Kim & Sung, 2018). 가쪽 발목 염좌는

앞정강종아리인대(anterior talo-fibula ligament: ATFL)의 이완으로 발목의 안쪽변짐(inversion) 범위를 증가시키고, 이로 인해 종아리뼈(fibula)의 원위부(distal part)가 전방으로 이동된다(Jeon & Park, 2021; Sarcon et al., 2019). 만성 발목 불안정성 환자들의 기능적 불안정성으로는 점프 후 착지 시 관절에 동적 안정성을 제공하는 하지의 부하 흡수 기능 저하가 있다(Kim, Son, Seeley & Hopkins, 2018). 점프 후 착지와 같은 역동적인 움직임에서 하지 관절이 받는 충격은 고관절 및 무릎 관절 신장근육의 편심성 수축(eccentric contraction)과 발바닥굽힘근(plantarflexor)에 의해 흡수되는 운동학적 패턴을 가진다(Doherty et al., 2016; Kim et al., 2018). 이때 만성 발목 불안정성을 가진 사람들은 정상인과 달리 착지 시에 고관절에 대한 의존도가 높다(Doherty et al., 2016). 즉, 고관절의 굴곡 증가와 굴곡 모멘트 패턴의 감소로 인해 고관절의 모음(adduction)이 감소되고, 무릎 관절의 굽힘(flexion) 및 발목 관절의 발등굽힘(dorsiflexion) 각이 증가한다(Doherty et al., 2016; Hoch, Staton, McKeon, Mattacola & McKeon, 2012).

만성 발목 불안정성 환자들은 착지 시 관절 각도 변화 외에도 관절 강직도 변화를 느낀다(Gribble & Robinson, 2009; Kim et al., 2018). 수직 낙하 시 다리의 강직도 변화를 살펴본 한 연구에 의하면 다리의 강직도는 하지의 기능과 관련되는데 발목에 상해를 입은 사람이 지속적인 치료를 하지 않고 동적인 움직임을 반복하게 되면 다리의 강직도를 관리하지 못하게 되고 2차 부상의 발생 위험이 있음을 시사한다(Jeon, Kim, Ryew & Hyun, 2018). 점프 후 착지에서 발생하는 반동에 관한 연구를 보면 반동 속도가 증가함에 따라 하지 강직도의 증가가 관찰되었다는 사실을 알 수 있다(Butler, Crowell III & Davis, 2003). 하지의 관절 강직도는 연부조직의 부상 위험 요소로 간주되고, 피부, 근육, 인대, 관절낭을 포함한 관절 주변 구조물에 의해 영향을 받는다(Kim et al., 2018). 발목의 감각 운동 결핍에 따른 관절 강직도 변화는 다양한 기능적 활동 동안 만성 발목 불안정성 환자들에게서 보고되었다(Kim et al., 2018). 운동 사슬을 통해 연결된 하지는 발목 관절 강직도 감소로 인해 근위 관절에 재 가중 운동 보상을 주는 결과를 가져온다(Kim et al., 2018).

발목의 구조적 및 기능적 결함은 만성 발목 불안정성으로부터 발생하고, 인체는 사슬과 같은 모양으로 구성되어 있기 때문에 발목에 생긴 이상으로 인해 무릎, 고관절 등 다른 부위의 부상으로 이어지는 운동학(kinetic and kinematic)적인 변화를 초래한다(Jeon et al., 2018; Lee & Hong, 2014). 이러한 발목의 불안정성을 개선하기 위해 많은 부상 예방 프로그램과 부목, 테이핑 등이 사용되고 있다(Grimm, Jacobs Jr, Kim, Amendola & Shea, 2016; Sarcon et al., 2019). 그 중 테이핑은 편리하여 연습, 경기, 일상생활에서 유용하게 사용되고 있다(Moiler, Hall & Robinson, 2006; Song, Jang & Oh, 2013). 테이핑은 약물을 사용하지 않는 약물 대체 요법으로 테이프를 피부에 부착하여 사용되는데, 테이핑 테이프는 탄력성에 따라 탄력 테이프(elastic tape)와 비탄력(non-elastic) 테이프로 구분된다(Kaminski, Needle & Delahunt, 2019; Song et al., 2013). 탄력 테이프와 달리 비탄력 테이프는 부상당한 관절의 가동을 제한하는 방법으로 과한 부하를 방지하고 치료의 효과보다 손상된 관절의 부상 방지 및 예방의 측면에서 사용된다(Song et al., 2013). 테이핑 요법 중에서 비골 재정렬 테이핑(fibula repositioning taping: FRT)은 비정상적으로 전방 활주된 종아리뼈를 손상 전 위치로 교정한다(Kaminski et al., 2019). 만성 발목 불안정성 환자들에게 FRT를 적용한 후 발목 발바닥굽힘 각도가 감소되는 것을 볼 수 있었다(East,

Blackburn, DiStefano, Zinder & Norcross, 2010). 또한, 가쪽 발목 염좌 부상이 빈번히 발생할 수 있는 점프 스포츠인 농구에 참가했던 사람들의 부상 비율이 약 5배 줄어들었고, 이를 통해 FRT는 부상 예방에 효과적이라고 보고되었다(Moiler et al., 2006).

발목 부상으로 인한 종아리뼈의 위치 변화와 관련하여 더 많은 연구가 필요하지만, 한 선행연구는 만성 발목 불안정성 환자들에게 통증 감소와 같은 기능적 개선이 종아리뼈 말단 부분의 전방 활주 이후에 일어난다고 시사한다(Chou, Kim, Baker, Hertel & Hart, 2013). 선행연구에 따르면, FRT가 구조적 및 기능적 결함을 감소시키고 만성 발목 불안정성 환자의 통증과 부상 발생률을 감소시킨다고 밝혔지만, FRT를 적용한 후 만성 발목 불안정성 환자의 발목, 무릎과 엉덩이 관절 각도 또는 관절 강직도가 어떻게 변하는지에 대한 연구가 부족한 것으로 나타났다(Chou et al., 2013). 따라서, 본 연구의 목적은 FRT를 적용하였을 때 만성 발목 불안정성 환자와 정상인의 하지 시상각(Sagittal angle)과 강직도(Stiffness)에 미치는 영향을 확인하는 것이다. 또한, FRT가 시상면에서 발목의 배측굴곡 각을 감소시키고, 운동 사슬에 의해 고관절과 무릎 관절에 긍정적인 변화를 일으킬 것이라 가정했다.

METHOD

연구에 참여한 모든 참가자들에게 동의서를 받았으며, 연구 참여에 동의한 참가자들은 연구 목적과 연구 절차에 관하여 충분한 설명을 들었다. 이 연구는 인간을 주제로 진행되었기에 생명윤리를 지키고 사용과 보호의 정당성을 보장 받기 위해 대학의 기관 검토 위원회(IRB)에서 승인을 받았다.

1. 연구대상

본 연구에서는 특별한 질환이 없고 주 3회 이상 총 150분의 중강도 유산소 활동에 6개월 이상 지속적으로 참여한 28명의 대학생 피험자를 모집하였으며, 정상인(Healthy) 14명(나이: 27.57±3.23 yrs, 신장: 169.61±8.33 cm, 체중: 76.98±17.95 kg)과 만성 발목 불안정성 대상자(CAI) 14명(나이: 24.07±4.46 yrs, 신장: 175.06±5.1 cm, 체중: 82.24±10.38 kg)으로 구분하여 실험을 실시했다. 연구 대상자 선정 기준은 국제 발목 컨소시엄 입장 성명서(International Ankle Consortium Position Statement)를 참고했다(Gribble et al., 2013). 연구에 참여하는 만성 발목 불안정성 대상자는 네 가지 조건을 만족시켰다. 첫째, 세 가지 설문지에서 일정 점수에 도달해야 한다. 발과 발목의 능력 측정-스포츠 척도(Foot and Ankle Ability Measure-Sports Scale: FAAM-SS), 발과 발목의 능력 측정-일상생활의 활동(Foot and Ankle Ability Measure-Activities of Daily Living: FAAM-ADL), 컴벌랜드 발목조사 도구(Cumberland Ankle Institute Tool: CAIT)에서 각각 85점, 90점, 24점 미만이어야 한다. 둘째, 일주일에 5일 이상 일하며 총 90분 이상 일하는 사람이어야 한다. 셋째, 적어도 한 번의 심각한 발목 염좌를 경험한 사람이어야 한다. 넷째, 발목 불안정성으로 인해 발목 빠짐이 있는 사람이어야 한다. 단, 하지에 골절 및 수술 병력이 있거나, 지난 3개월 이내 하지에 심각한 부상을 당한 사람은 실험에서 제외했다. 연구 대상자의 인구통계학적 특성은 (Table 1)과 같다.

Table 1. Participant's demographic characteristics

	Healthy (n=14)	CAI (n=14)
Age (years)	27.57±3.23	24.07±4.46
Height (cm)	169.61±8.33	175.06±5.1
Weight (kg)	76.98±17.95	82.24±10.38
FAAM-SS	99.32±1.30	75.45±6.70
FAAM-ADL	99.11±1.46	86.69±6.71
CAIT	29.93±0.27	17.64±4.14

Note. Mean ± Standard Deviation, CAI: Chronic Ankle Instability, FAAM-SS: Foot and Ankle Ability Measure-Sports Scale, FAAM-ADL: Foot and Ankle Ability Measure-Activities of Daily Living, CAIT: Cumberland Ankle Institute Tool

2. 연구방법

검사를 수행하기 전 연구자는 만성 발목 불안정성 대상자 그룹이 CAIT, FAAM-SS, FAAM-ADL 세 가지의 선별 설문지를 통해 피험자로서 발목 기능 조건에 해당되는지 확인했다. 선별된 모든 피험자 28명은 검사 중 발생할 수 있는 부상을 예방하는 차원에서 10분간 준비운동을 실시하였다. 대상자들은 FRT를 적용하기 전 지면으로부터 60 cm 높이의 박스 위에서 하나의 지면반력기(force plate) 위로 착지 동작을 수행하였으며, 2회의 연습 후 본 측정은 3회 실시하였다. 이후 FRT를 적용하여 동일한 방법으로 3회 측정했다. 연습 사이에는 30초의 휴식을 주었고, 본 측정에 들어가기 전에는 1분의 휴식시간을 주었다. 낙하 착지는 한쪽 다리만으로 하였고, 이때 하지의 변화만을 독립적으로 확인하기 위해 팔은 엉덩뼈 능선(iliac crest)에 고정하였으며 시선은 정면을 바라보도록 했다. 상자의 위치는 지면반력기의 뒤쪽 가장자리에서 20~40 cm 떨어진 거리가 적당하다는 결과를 발표한 선행연구를 바탕으로 본 연구에서는 20 cm 거리를 두고 측정을 실시했다(Cho & Kim, 2011; Seegmiller & McCaw, 2003). 재측정은 다음과 같은 경우에 실행되었다. 1) 착지 동작 후 균형이 상실된 경우 2) 반대쪽 발이 지면에 닿았을 경우 3) 부착된 표지점이 떨어진 경우 4) 데이터 수집에 실패했거나 지면반력기가 힘을 감지하기 전에 데이터 상의 변화가 있는 경우.

1) 비골 재정렬 테이핑

FRT는 3회 착지 후에 부착되었고, 대상자는 앉은 자세에서 발목을 중립 상태로 맞춘 뒤 20 cm Leukotape P® (BSN Inc., Charlotte, NC, USA) 테이프를 적용 받았다. 또한, 테이핑이 피부에 잘 붙도록 하는 Q.D.A. Tape Adherent Spray (Q.D.A., Cramer Products, Inc., Gardner, KS, USA)를 사용하였다. 테이핑 두 개 중 하나는 가쪽 복사 원위부 끝지점 즉, 가쪽 복사 가장 튀어나온 부분의 1 cm 앞에서 시작하여 안쪽으로 감아 올려 정강이뼈 앞쪽에서 끝나도록 붙이고 나머지 하나는 (Figure 1)과 같이 첫 번째 테이핑과 겹치게 붙였다.

**Figure 1.** Fibular repositioning taping

2) 3차원적 동작분석 시스템

정상인과 만성 발목 불안정성 대상자의 FRT 적용에 따른 낙하 착지 시 시상면에서 하지 관절 각도와 관절 강직도 변화를 보기 위해 VICON 3-D motion capture system (Vicon Motion System, Ltd., Oxford, UK)을 사용하였다. 피험자들은 양 다리의 위앞엉덩뼈가시(anterior superior iliac spine), 뒤위엉덩뼈가시(posterior superior iliac spine), 넓다리뼈(femur)의 가쪽 중간지점과 가쪽위관절용기(lateral epicondyle), 정강이뼈(tibia)의 가쪽 중간지점, 가쪽복사(lateral malleolu), 뒤꿈치(heel), 두 번째 발허리 발가락 관절(2nd metatarsophalangeal joint) 총 16개 지표에 14 mm의 반사마커(reflective marker)를 붙이고 지면으로부터 60 cm 높이의 상자에서 두 발로 서 있다가 지면반력기 위로 한발 착지 동작을 수행했다.

3. 자료처리

낙하 착지하는 동안의 모든 자료는 VICON Nexus software (Vicon Motion System, Ltd, UK Oxford)와 Labview codes (ver. 2013; National Instruments, Corp., Austin, TX)를 사용하여 분석하였다. 본 연구에서 60 cm 상자 위에서 한발로 낙하 착지 중 최초 접촉 시 무릎의 최대 굴곡 시점을 기준으로 시상면상에서 고관절, 무릎, 발목의 각도 변화 및 강직도를 관찰하기 위해 8대의 VICON motion capture system을 사용하였고, 250 Hz의 샘플링 속도(sampling rate)로 운동학(kinematic) 데이터를 수집하였다. 지면반력기는 발과 지면반력기가 처음 접촉한 지점을 확인하기 위해 1,000 Hz의 샘플링 속도로 설정되었다. 관절의 강직도는 낙하 착지하는 과정에서 발생하는 움직임 변화량을 각도 변화량으로 나누어 값을 구하였다.

$$\text{Joint Stiffness} = \frac{\Delta \text{moment}}{\Delta \text{angle}} \text{ Nmm/Kg}^\circ$$

Table 2. Mean (\pm SD) values for sagittal angle of Hip, Knee and Ankle before and after FRT application

Variables	Healthy		CAI	
	Pre	Post	Pre	Post
Hip	29.47 \pm 11.27*	33.04 \pm 12.03*	31.45 \pm 9.70*	32.29 \pm 9.85*
Knee	53.44 \pm 8.09*	55.13 \pm 8.36*	53.12 \pm 8.35*	55.55 \pm 9.81*
Ankle	56.10 \pm 3.71*	54.09 \pm 4.31*	52.80 \pm 6.04*	49.86 \pm 10.08*

Note. Mean \pm Standard Deviation, FRT: Fibular Repositioning Taping, CAI: Chronic Ankle Instability, pre: no taping, post: post-taping
* $p < .05$: significant

Table 3. Mean (\pm SD) values for stiffness of Hip, Knee and Ankle before and after FRT application

Variables	Healthy		CAI	
	Pre	Post	Pre	Post
Hip	1549.16 \pm 517.53*	1272.48 \pm 646.73*	1300.42 \pm 595.55*	1158.27 \pm 550.58*
Knee	270.12 \pm 54.07*	239.13 \pm 64.70*	241.58 \pm 93.48*	214.63 \pm 101.00*
Ankle	57.29 \pm 17.04	59.37 \pm 18.30	69.15 \pm 17.63	77.24 \pm 35.05

Note. Mean \pm Standard Deviation, FRT: Fibular Repositioning Taping, CAI: Chronic Ankle Instability, pre: no taping, post: post-taping
* $p < .05$: significant

4. 통계처리

본 연구의 통계처리는 SPSS (version 24.0 0; IBM SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 사용하여 본 측정 3회의 평균 값을 산출하였다. 만성 발목 불안정성 대상자와 정상인 두 그룹으로 나누어 테이핑 적용 전후로 낙하 착지를 수행하였고, 관절 각도와 강직도의 평균 및 표준편차를 2-way mixed ANOVA를 통하여 Bonferroni 교정방법으로 사후비교를 진행하였다. 모든 자료의 통계적 유의수준은 $p < .05$ 로 설정하였다.

RESULTS

(Table 2)는 정상인과 만성 발목 불안정성 대상자 그룹에 있어서 FRT 적용 전후 고관절, 무릎, 발목의 시상각에 대한 평균과 표준오차 값을 나타낸 것이다. 정상인은 FRT를 적용하기 전보다 후의 고관절 시상각 ($F=7.147$; $p < .05$)이 증가하였으며, 무릎에서 시상각($F=6.912$; $p < .05$)도 증가했다. 만성 발목 불안정성 그룹에서 또한, 고관절($F=7.147$; $p < .05$)과 무릎($F=6.912$; $p < .05$)의 시상각이 FRT를 적용하기 전보다 후에서 증가하였다. 따라서, FRT 적용 후 정상인과 만성 발목 불안정성 그룹 모두 고관절과 무릎의 시상각이 유의하게 증가했다. 발목의 시상각 (Healthy: $F=6.812$; $p < .05$; CAI: $F=6.812$; $p < .05$)은 FRT 적용 후 값이 두 집단에서 모두 감소했고, 유의미했다.

정상인과 만성 발목 불안정성 대상자 그룹에 있어서 FRT 적용 전후 고관절, 무릎, 발목의 관절 강직도는 (Table 3)와 같다. 정상인과 만성 발목 불안정성 대상자 그룹 모두 FRT 적용 후 고관절(Healthy: $F=8.304$; $p < .05$; CAI: $F=8.304$; $p < .05$)과 무릎(Healthy: $F=7.207$; $p < .05$; CAI: $F=7.207$; $p < .05$)에서 강직도가 유의하게 감소했다. 발목(Healthy: $p > .05$; CAI: $p > .05$)에서는 정상인과 만성 발목 불안정성 그룹 모두 강직도가

증가했으며 특히, 만성 발목 불안정성 집단에서 강직도가 8.09 증가했지만 유의미한 차이가 나타나지 않았다($p > .05$).

DISCUSSION

스포츠 활동에 있어서 발목 부상은 매우 흔한 부상이다(De Ridder et al., 2015). 특히, 가쪽 발목 염좌는 발목 손상 중 가장 높은 비율을 차지한다(Rine, 2019). 가쪽 발목 부상은 주로 발목의 안쪽번짐에 의해 일어나는데, 이에 관련된 인대로는 앞정강종아리인대, 발꿈치종아리인대, 뒤목말종아리인대가 있다(East et al., 2010; Hubbard & Hertel, 2008). 발목의 가쪽 인대는 안쪽 인대에 비해 구조적으로 약하기 때문에 발목 손상에 있어 대략 70%의 재발률을 가지며, 이는 만성 발목 불안정성(CAI)으로 이어진다(East et al., 2010).

신체의 발목은 생체역학적으로 서 있을 때나 보행할 때 체중지지 및 충격 흡수에 중요한 역할을 하는 관절로 활동과 정렬에 영향을 미친다(Kim & Lee, 2019; Song et al., 2013). 발목 부상은 활동량이 높은 운동선수에게 많이 발생하지만, 일반인에게도 발생 비율이 높다(Song et al., 2013). 비침습적이며 안전한 방법으로 움직임에 안정성을 제공하며 염좌 예방과 재발에 이용되는 테이핑은 효과적으로 치료에 도움을 주는 수단이다(Kim & Lee, 2019; Kwon, Kim & Shin, 2020; Park, Kim, Go & Youn, 2017). 이에 따른 구조적 및 임상적 테이핑 요법의 수요 증가와 테이핑이 주는 기대효과에 관한 연구가 계속해서 이루어지고 있다(Chou et al., 2013). 이에 본 연구는 불안정한 발목에 테이핑을 적용함으로써 하지의 관절 각과 강직도를 비교하여 테이핑의 효과를 알아보고자 설계되었다.

1. 낙하 착지 시 FRT 적용에 따른 하지 관절 각

본 연구는 FRT 적용 후 낙하 착지 시 정상인과 만성 발목 불안정성 대상자 모두 발목 각도가 작아진 것으로 나타났다. 선행연구에 따르면 만성 발목 불안정성을 가진 대상자는 착지 시 발목의 내번(inversion) 각과 내회전(internal rotation) 각이 높은 것으로 나타나 발목 염좌의 가능성이 높은 경향을 보인다(Jeon & Park, 2021). 만성 발목 불안정성 그룹은 낙하 착지 시 시상면에서 발목 관절의 가동범위(range of motion: ROM)가 감소하고 고관절 굴곡 각도가 증가하는 등 발목 관절보다 고관절을 주로 이용하여 착지하려는 전략을 보인다(Jeon & Park, 2021). 또한, 기능적으로 발목이 불안정한 사람들은 신체 운동 사슬에 따라 착지 시 발목 움직임에 있어서 무릎과 고관절에 보상 작용을 일으키면서 제한적인 움직임이 나타나는 것으로 평가되었다(Jeon et al., 2018). 즉, 발목이 불안정하면 착지 전략에서 다른 관절에 의존도가 증가하고 하지 기능에 영향을 미치는 것이다(Jeon et al., 2018). 본 연구에서도 발목이 불안정한 사람은 안정한 사람에 비해 착지 동작에서 발목의 각도가 큰 것으로 나타났다. 이에 따라 만성 발목 불안정성이 있는 사람들은 발목이 안쪽범직 되어 상해를 입고, 인대의 느슨함으로 인해 종아리뼈가 전방으로 활주한다는 기전을 바탕으로 발목 움직임에 제한이 생기며 발등굽힘이 잘 이루어지지 않는 것으로 사료된다. 다른 선행연구에서 FRT를 적용한 그룹은 지면 접촉 전 정강이뼈 앞 근육의 활동이 감소한 나머지 지면 접촉 시 감소된 족저굴곡(dorsiflexion) 상태로 착지하는 결과를 보였고 이는 본 연구와 일치하는 결과이다(East et al., 2010). 테이핑의 중재로 이러한 결과가 나타난 것은 FRT가 발목 관절의 안정성을 향상시킬 수 있는 운동역학적 변화를 일으켜 만성 발목 불안정성과 관련된 발목 염좌 재발 위험을 잠재적으로 감소시킬 수 있음을 시사한 것이다(East et al., 2010). 발목 테이핑이 관절가동범위 증진에 유의한 영향을 준 결과를 통해 테이핑 적용이 발목 전략과 신체 조절에 있어서 긍정적인 영향을 주었을 것으로 보여진다(Kwon et al., 2020).

2. 낙하 착지 시 FRT 적용에 따른 하지 관절 강직도

신체에서 하지의 역할은 스프링과 같고, 그 중 발과 발목 관절은 충격을 흡수하고 자세 제어에 중요한 역할을 한다(Butler et al., 2003; Kim & Lee, 2019). 고관절과 무릎도 이에 관여하며 근육, 인대, 힘줄을 통해 에너지를 분산시킨다(Yeow, Lee & Goh, 2011). 이전 연구들은 하지가 성별, 착지 높이, 착지 강직도 같은 다양한 요소들이 부드럽게 착지하는 데에 영향을 미친다고 했다(Yeow et al., 2011). 뻣뻣하게 착지하는 자세는 고관절이나 무릎의 근육보다 발목 근육에 더 큰 부하를 준다(Yeow et al., 2011). 강직도가 높으면 착지 시 뻣뻣한 움직임을 보이며 관절의 움직임이 작게 나타나고, 이는 관절에서 충격 흡수가 제대로 이루어지지 않아 부하가 가해지는 것을 의미한다(Kim & Cho, 2017). Zhang은 60 m 높이에서 양발로 낙하 착지 시 고관절과 무릎 신전이 충격 흡수에 도움이 된다고 설명했고, 반면 발목의 족저굴곡과 고관절의 신전이 두 번째로 에너지 분산에 기여한다고 했다(Yeow et al., 2011). FRT 개입이 낙하 착지 시 하지의 관절 강직도에 미치는 효과를 조사한 다른 논문에 의하면 참가자들이 낙하 후 FRT의 충격 흡수 기전이 효과적이라는 것을 보여주었고, 하지의 관절 운동학 및 강직도는

FRT 후에 달라졌다(McCleave, 2017). 스포츠 활동 중 발생하는 부상은 착지 동작에서 큰 충격을 받으며 일어나기도 한다(Koh et al., 2013). 체온을 상승시키고 근육조직을 유연하게 함으로써 또는 테이핑으로 관절에 무리가 가지 않도록 움직임을 제한시킴으로써 무릎과 고관절의 굴곡 움직임을 높일 수 있다(Koh et al., 2013; Won & Lee, 2012).

착지 동작에서 하지 관절의 굴곡 각도가 증가되면 관절에 가해지는 부하가 적고 충격 흡수 기전이 잘 이루어진다고 본다(Hyun, 2021). 본 연구에서 실시한 한발 착지 과제에서는 FRT가 정상인과 발목 불안정성을 가진 대상자에게 모두 하지의 시상각과 강직도에 효과적이라는 결과를 보여준다. 그러나 이는 관상면(coronal plane) 또는 수평면(horizontal plane)에서 하지의 상태 변화를 생각하지 않았으며, 장기적으로 보았을 때 FRT가 지속적으로 긍정적인 변화를 일으키는지 확인할 수 없다는 제한점이 있다. 따라서, FRT가 중재 기간에 따라 모든 면(plane)에서 기능적인 움직임에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다. 적용 기간에 상관없이 테이핑을 통해 관절의 불안정성을 개선하고 자세 흔들림을 통제할 수 있게 되면 관절이 유연해질 뿐만 아니라 근육, 인대, 힘줄을 포함하여 하지의 움직임 수행 능력이 향상될 것으로 사료된다. 발목이 정상적인 운동선수를 대상으로 테이핑을 적용한 상태에서 운동 수행 후 효과를 살펴본 선행연구에서는 테이핑이 일시적인 손상을 대비하는 방법뿐만 아니라 긍정적인 것이라고 하였다(Won & Lee, 2012). 따라서 본 연구는 비운동선수를 대상으로 즉각적인 테이핑 처치 후 검사를 진행하였기에 유의한 효과가 나타난 것으로 사료된다.

CONCLUSION

본 연구에서는 두 집단에서 낙하 착지 동안 FRT가 하지의 관절 각도와 관절 강직도에 미치는 영향에 대하여 실험하였다. 정상인과 만성 발목 불안정성을 가진 대상자에게 FRT를 적용시키고 낙하 착지를 수행하게 했을 때 시상면에서 관찰한 결과 모든 그룹에서 고관절과 무릎의 시상각은 증가하였고, 발목의 시상각은 감소하였다. 관절 강직도에 있어서 두 그룹은 FRT 적용 후 고관절과 무릎에서 감소한 결과 값을 보였지만 발목은 변화를 보이지 않았다. 따라서, FRT는 대상자에게 낙하 착지 동안 변화된 충격 흡수 기전을 작용시킨다. 발목 불안정성이 있는 경우 고관절에 의존하여 낙하 착지를 수행하는데 FRT 적용 후 시상각과 강직도를 살펴보면 의존도가 감소하고 발목의 기능이 향상된 양상을 보인다. 본 연구는 1회성 테이핑 처치 시 긍정적인 효과가 나타난 것으로 보아 추후 장기적/주기적으로 테이핑을 실시할 시 발목 부상 예방 및 개선에 영향을 미치는지에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was supported by Dong-A University.

REFERENCES

- Butler, R. J., Crowell III, H. P. & Davis, I. M. (2003). Lower extremity stiffness: implications for performance and injury. *Clinical Biomechanics*,

- 18(6), 511-517.
- Cho, J. H. & Kim, R. B. (2011). The effects of landing height and distance on knee injury mechanism. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 21(2), 197-205.
- Chou, E., Kim, K. M., Baker, A. G., Hertel, J. & Hart, J. M. (2013). Lower leg neuromuscular changes following fibular reposition taping in individuals with chronic ankle instability. *Manual Therapy*, 18(4), 316-320.
- De Ridder, R., Willems, T., Vanrenterghem, J., Robinson, M. A., Palmans, T. & Roosen, P. (2015). Multi-segment foot landing kinematics in subjects with chronic ankle instability. *Clinical Biomechanics*, 30(6), 585-592.
- Delahunt, E., Cusack, K., Wilson, L. & Doherty, C. (2013). Joint mobilization acutely improves landing kinematics in chronic ankle instability. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(3), 514-519.
- Doherty, C., Bleakley, C., Hertel, J., Caulfield, B., Ryan, J. & Delahunt, E. (2016). Single-leg drop landing movement strategies in participants with chronic ankle instability compared with lateral ankle sprain 'copers'. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 24(4), 1049-1059.
- East, M. N., Blackburn, J. T., DiStefano, L. J., Zinder, S. M. & Norcross, M. F. (2010). Effects of fibular repositioning tape on ankle kinematics and muscle activity. *Athletic Training Sports Health Care*, 2(3), 113-122.
- Gribble, P. A., Delahunt, E., Bleakley, C., Caulfield, B., Docherty, C., Fourchet, F., Fong, D., Hertel, J., Hiller, C. & Kaminski, T. (2013). Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: a position statement of the International Ankle Consortium. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 43(8), 585-591.
- Gribble, P. A. & Robinson, R. H. (2009). Alterations in knee kinematics and dynamic stability associated with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, 44(4), 350.
- Grimm, N. L., Jacobs Jr, J. C., Kim, J., Amendola, A. & Shea, K. G. (2016). Ankle injury prevention programs for soccer athletes are protective: a level-I meta-analysis. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 98(17), 1436-1443.
- Hoch, M. C., Staton, G. S., McKeon, J. M. M., Mattacola, C. G. & McKeon, P. O. (2012). Dorsiflexion and dynamic postural control deficits are present in those with chronic ankle instability. *Journal of Science Medicine in Sport*, 15(6), 574-579.
- Hubbard, T. J. & Hertel, J. (2008). Anterior positional fault of the fibula after sub-acute lateral ankle sprains. *Manual Therapy*, 13(1), 63-67.
- Hyun, S. (2021). Effect of Different Drop Heights and Load on Lower Extremity Kinetics in Landing Task. *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, 21(3), 115-121.
- Jeon, K. & Park, J. (2021). Biomechanical Characteristic on Lower Extremity with or without Chronic Ankle Instability during Double Leg Drop Landing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 31(2), 113-118.
- Jeon, K. K., Kim, K. W., Ryew, C. C. & Hyun, S. H. (2018). Effect of Functional Ankle Instability and Surgical Treatment on Dynamic Postural Stability and Leg Stiffness Variables during Vertical-Drop Landing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 28(2), 135-141.
- Jun, H., Choi, S. & Chang, E. (2021). Influence of prophylactic ankle tapes on lower-extremity kinematics during a stop-jump task in chronic ankle instability. *Journal of Men's Health*, 17(4), 255-263.
- Kaminski, T. W., Needle, A. R. & Delahunt, E. (2019). Prevention of lateral ankle sprains. *Journal of Athletic Training*, 54(6), 650-661.
- Kim, D. W. & Sung, K. S. (2018). Chronic Lateral Ankle Instability. *Journal of Korean Foot and Ankle Society*, 22(2).
- Kim, E. J. & Lee, K. B. (2019). The Effects of Kinesio Taping Applying to Foot and Ankle Joints on Foot Pressure and Gait in Patients with Chronic Stroke. *Journal of Neurotherapy*, 23(2), 1-6.
- Kim, H., Son, S. J., Seeley, M. K. & Hopkins, J. T. (2018). Kinetic Compensations due to chronic ankle instability during landing and jumping. *Medicine Science in Sports Exercise*, 50(2), 308-317.
- Kim, R. B. & Cho, J. H. (2017). Comparative Analysis of Drop Landing Skill Level on Joint Stiffness. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 7(0), 595-602.
- Kobayashi, T. & Gamada, K. (2014). Lateral ankle sprain and chronic ankle instability: a critical review. *Foot & Ankle Specialist*, 7(4), 298-326.
- Koh, Y. C., Kim, K. H., Hwang, S. W., Kim, C. Y., Cho, S. W. & Cho, J. H. (2013). Effects of Warm-up on Landing Strategy during Drop-Landing. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 51(2), 759-766.
- Kwon, O., Kim, H. & Shin, W. (2020). Comparison of the Effects of Different Types of Taping on Static and Dynamic Balance in Adults with Chronic Ankle Instability. *Journal of The Korean Society of Integrative Medicine*, 8(1), 27-36.
- Lee, K. I. & Hong, W. K. (2014). Analysis of Kinetic Differences According to Ankle Taping Types in Drop Landing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 24(1), 51-57.
- McCleve, IV, J. M. (2017). *Effects of the Fibular Repositioning Taping on Lower Extremity Biomechanics during Gait in Active Adults with Chronic Ankle Instability*. Unpublished Master's Thesis, University of Toledo.
- Moiler, K., Hall, T. & Robinson, K. (2006). The role of fibular tape in the prevention of ankle injury in basketball: A pilot study. *Journal of Orthopaedic Sports Physical Therapy*, 36(9), 661-668.
- Park, S. J., Kim, T. H., Go, J. H. & Youn, P. S. (2017). The impact of convergence balance training and taping on spasticity and balance ability in patients with chronic stroke. *Journal of Digital Convergence*, 15(7), 297-306.
- Rine, J. A. (2019). *Single Leg Hop Landing Analysis in Patients with Chronic Ankle Instability, Lateral Ankle Sprain Copers, and Healthy Individuals*. Published Master's Thesis by ProQuest LLC, Illinois State University.

- Sarcon, A. K., Heyrani, N., Giza, E. & Kreulen, C. (2019). Lateral ankle sprain and chronic ankle instability. *Foot Ankle Orthopaedics*, *4*(2), 2473011419846938.
- Seegmiller, J. G. & McCaw, S. T. (2003). Ground reaction forces among gymnasts and recreational athletes in drop landings. *Journal of Athletic Training*, *38*(4), 311.
- Song, K., Jang, W. & Oh, J. (2013). Difference in ROM, Balance, Proprioception, Agility according to Types of Taping. *The Korean Journal of Sport*, *11*(4), 461-471.
- Theisen, A. & Day, J. (2019). Chronic ankle instability leads to lower extremity kinematic changes during landing tasks: a systematic review. *International Journal of Exercise Science*, *12*(1), 24.
- Won, K. H. & Lee, M. G. (2012). Effects of adhesive ankle taping on range of motion, proprioception, and functional performance capability in basketball players with functional ankle instability. *Exercise Science*, *21*(1), 11-22.
- Yeow, C. H., Lee, P. V. S. & Goh, J. C. H. (2011). An investigation of lower extremity energy dissipation strategies during single-leg and double-leg landing based on sagittal and frontal plane biomechanics. *Human Movement Science*, *30*(3), 624-635.