

Effects of Kinematics and Kinetics of the Lower Extremities Joint during Drop Landing in Adult Women with Patellofemoral Pain Syndrome

슬개대퇴동통증후가 성인 여성의 드롭랜딩 시 하지 주요관절의 운동역학적 변화에 미치는 영향

Kyongkyu Jeon^{2,3,4,5}, Seunghyeok Yeom^{1,5}

¹Department of Human Movement Science, Incheon National University, Incheon, South Korea

²Division of Sport Science, Incheon National University, Incheon, South Korea

³Sport Science Institute, Incheon National University, Incheon, South Korea

⁴Health Promotion Center, Incheon National University, Incheon, South Korea

⁵Functional Rehabilitation Biomechanics Laboratory, Incheon National University, Incheon, South Korea

Received : 04 March 2021

Revised : 18 March 2021

Accepted : 22 March 2021

Corresponding Author

Seunghyeok Yeom

Department of Human Movement Science, Functional Rehabilitation Biomechanics Laboratory, Incheon National University, 119 Academy-ro, Yeonsu-gu, Incheon, 22012, South Korea

Tel : +82-32-835-4666

Fax : +82-32-835-0788

Email : yeom12@inu.ac.kr

Objective: This study investigated the different in isokinetic peak strength of the knee joint, and kinetics and kinematics in drop landing pattern of lower limb between the patellofemoral pain syndrome (PFPS) patients and normal.

Method: 30 adult females were divided into the PFPS (age: 23.13±2.77 yrs; height: 160.97±3.79 cm, weight: 51.19±4.86 kg) and normal group (age: 22.80±2.54 yrs, height: 164.40±5.77 cm, weight: 56.14±8.16 kg), with 15 subjects in each group. To examine the knee isokinetic peak strength, kinematics and kinetics in peak vertical ground reaction force during drop landing.

Results: The knee peak torque (Nm) and relative strength (%) were significantly weaker PFPS group than normal group. In addition, PFPS group had significantly greater hip flexion angle (°) than normal group. Moreover, normal group had significantly greater moment of hip abduction, hip internal rotation, and left ankle eversion than PFPS group, and PFPS group had significantly greater moment of knee internal rotation. Finally, there was significant differences between the groups at anteroposterior center of pressure.

Conclusion: The PFPS patients had weakened knee strength, and which can result in an unstable landing pattern and cause of more stress in the knee joints despite to effort of reduce vertical ground reaction force.

Keywords: Patellofemoral pain syndrome, Drop landing, Knee strength, Adult women, Joint moments, Coordination

INTRODUCTION

대퇴부와 하퇴부가 결합된 무릎관절은 기능학적 결합으로 굴곡과 신전을 주로 담당하고, 구조상 관절 주변 근육의 영향을 많이 받는 특징을 가진 관절이다(Green, 2005). 최근 생활체육 참여 인구가 증가하면서, 무릎관절의 반복적인 사용 증가와 다양한 내적 및 외적 요인으로 인해 불안정성과 그에 따른 통증이 증가한다고 보고되고 있으며, 이러한 현상으로 인해 통증이 나타나는 증상을 슬개대퇴동통증후군(patellofemoral pain syndrome: PFPS)이라 정의한다(Vora et al., 2017; Waryasz & McDermott, 2008).

슬개대퇴동통증후군은 일상에서 흔히 나타나는 질환으로 신체 활동이

활발한 사람 6명 중 1명은 통증을 경험하는 것으로 보고되었고(Smith et al., 2016), 남성보다 여성에게 2배 이상 더 높게 발생하며, 근력 불균형이 클수록 무릎 손상 비율이 커지는 것으로 보고되고 있다(Boling et al., 2010). 슬개대퇴동통증후의 정확한 원인은 밝혀지지 않았으나, 대퇴사두근 각도(Q-angle), 내측광근 약화(vastus medialis oblique muscle weakness), 슬개골 부정렬(malalignment), 장경인대 긴장(iliotibial band tightness) 그리고 활동 중 슬개골의 부정확한 이동(patellar incorrect tracking), 슬개대퇴 압박력 증가(patellofemoral compressive force), 대퇴 전경(femoral anteversion), 전반슬(genu recurvatum), 외반슬(genu valgus), 슬개골 불안정성(patellar instability) 등과 같은 다양한 요인들로 인해 무릎관절에 비정상적인 압박과 동통을 유발하는 것으로 보고

되고 있으며(Fredericson & Yoon, 2006; Sisk & Fredericson, 2019; Willson & Davis, 2008; Cho et al., 2010), 이러한 통증은 주로 달리기, 계단오르 내리기, 및 점프 후 착지 동작 등에서 자주 나타난다.

여성의 슬개대퇴동통증후 발생 위험 정도가 남성보다 높은 이유는, 대퇴골 길이에 비해 골반이 넓어서 고관절의 과한 내전 및 내회전 등이 발생하기 쉬운 구조적인 차이로 인해 관절의 충격이 더 크기 때문으로 추측되고 있다(Almonroeder & Benson, 2017; Lim & Park, 2007). 이렇게 증가된 골반과 대퇴골의 각도는 무릎관절의 지나친 외반을 유도할 수 있기 때문에 남성에 비해 여성의 슬개대퇴동통증후의 발생 위험이 높게 나타난다(Boling et al., 2019; Yoon & Kim, 2016). 또한 여성은 남성과의 구조적 차이 및 하지 근력의 약화에 따른 Q-angle의 증가 경향이 높으며, 이러한 현상은 무릎관절의 토크를 감소시키며(Sac & Taşmektepligil, 2018), 불안정한 압력중심(center of pressure, COP)의 변화를 유발한다(Lee et al., 2012). Petersen 등 (2014)은 무릎관절에서 동적 움직임이 나타날 때 내측광근의 활동 지연으로 인한 슬개골의 잘못된 외측 측면 이동이 슬개대퇴동통증후와 관련이 있다고 보고하고 있으며, Stephen 등 (2018)은 내측광근의 기능 감소로 인한 무릎관절의 압력 증가는 슬개대퇴동통증후 경향을 나타내는 부정적인 요소가 될 수 있다고 보고하였다. 이를 예방하기 위한 전략으로 대퇴사두근의 근력을 강화하고, 내측광근과 외측광근의 근력 비대칭에 따른 불안정성을 해소하여 동적 움직임 시 무릎관절의 비정상적인 압력을 감소시킬 수 있다(Nascimento et al., 2018; Waryasz & McDermott, 2008).

인간의 동적 움직임 시 하지 부상의 비점측 패턴 중 달리기, 뛰기, 멈추기, 회전, 방향전환 등 여러 가지 요인이 있지만, 그 중 점프 후 착지는 하지 부상의 주요 요인으로 보고되고 있다. 또한 회전이나 점프 동작이 있는 스포츠에 참여하는 여성은 남성보다 4~6배 높은 무릎 부상을 겪는다(Alentorn-Geli et al., 2009; Cho & Kim, 2011; Hewett et al., 2005). 선행연구에서는 여성이 남성보다 착지 시에 몸통의 굴곡 범위가 작고 골반의 전방 기울임이 큰 불안정한 패턴을 보이며, 무릎관절과 발목관절에서 더 큰 충격을 받는다고 보고되고 있다(Romanchuk et al., 2020). 이와 같은 선행연구에도 불구하고, 슬개대퇴동통증후 환자의 하지 주요관절을 함께 비교한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 슬개대퇴동통증후 유무에 따라 나타나는 착지 동작의 특징에 대해 접근하는 것은 효율적인 동적 움직임 전략 수립뿐만 아니라 질환의 예방 및 재활 목적으로 매우 중요하고, 스포츠 활동이 증가하는 현 상황에 있어서 더욱 중요한 의미를 갖는다고 할 수 있다.

이에 본 연구는 성인 여성을 대상으로 슬개대퇴동통증후 유무에 따라 나타나는 대퇴근력 차이와 드롭랜딩 시 하지 주요관절에서 나타나는 운동역학적 변화의 조사를 통해 동적 움직임 메커니즘 조절을 위한 기초 자료를 제공하는 목적이 있다.

METHOD

1. 연구대상

본 연구는 우세다리(dominant leg)가 오른발인 20대 성인 여성 중 최근 1년 간 하지관절에 부상 경험이 없는 자와 1년 이내 오른쪽 다리에 정형외과 전문의로부터 슬개대퇴동통증후 진단을 받은 자로 각각 15명씩 총 30명을 대상으로 실시하였다. 연구에 참여하는 모든 피

험자들에게 기관생명윤리위원회(7007971-201801-001)의 권고에 따라 연구 내용과 절차에 대해 충분히 설명하였으며, 측정 전 실험 참가 동의서를 얻은 후 진행하였다. 이러한 피험자의 신체적 특징은 (Table 1)과 같다.

Table 1. Characteristic of participants

Variables	Normal group	PFPS group	<i>p</i>
Age (years)	22.80±2.54	23.13±2.77	0.734
Height (cm)	164.40±5.77	160.97±3.79	0.064
Weight (kg)	56.14±8.16	51.19±4.86	0.053

Note. Mean ± Standard Deviation, PFPS: Patellofemoral Pain Syndrome

2. 자료 수집

슬개대퇴동통증후 유무에 따른 무릎관절 최대근력(peak torque, Nm)을 알아보기 위해 등속성 근관절기능검사(Humac Norm Testing and Rehabilitation, CSMi Solutions, USA)를 실시하였다. 무릎관절의 굴곡과 신전 움직임에 대한 최대근력 측정을 위해 60°/sec에서 총 5회 실시하였으며, 측정 전 부상 방지를 위해 약 10분 간 준비운동 후 측정하였다. 측정 시 각 피험자의 무릎관절에 대한 해부학적 운동축인 대퇴의 외측상과(lateral epicondyle)와 등속성 근관절기능장비의 동력계(dynamometer)와 회전축이 일치하도록 조정하였으며, 최대 신전 상태를 0°로 하여 관절가동범위의 영점 조절을 실시하였다. 측정 중 과굴곡 및 과신전 등으로 인한 손상을 방지하도록 상체와 반대쪽 다리를 고정하고, 충분한 설명과 연습을 실시한 후 측정을 실시하였다.

하지 주요관절의 운동학적, 운동역학적 자료 수집을 위해 총 8대의 영상 분석 카메라(6 Eagle Camera and 2 Raptor System, Motion Analysis Corp., USA)로 구성된 동작분석장비와 2대의 지면반력기(OR6-5-2000, AMTI Inc., USA)를 활용하였다. 정확한 실험을 위해 피험자를 중심으로 전후방 및 좌우측 방향에 총 8대의 카메라를 피험자와 좌표 기준점으로부터 동작 범위를 완전히 포함하도록 하고, 공간 좌표 설정을 위한 캘리브레이션(calibration)을 실시하였다. 또한 Helen Hayes Markers Set을 기준으로 하여 피험자 하지 주요 관절에 총 19개의 반사 마커를 부착하여 해부학적 자세에서 정적 움직임을 측정하였다. 이후 무릎관절과 발목관절의 내측 관절에 부착한 4개의 마커를 제거한 후, (Figure 1)과 같이 총 15개의 마커를 사용하여 동적인 드롭랜딩 동작을 측정하였다.

드롭랜딩은 Orishimo 등 (2014)이 제시한 연구를 참고하여 30 cm의 수직 높이에서 실시하였다. 부상 방지를 위해 측정 전 약 30분 간 준비운동과 드롭랜딩 동작을 연습하였고, 모든 대상자에게 자연스러운 동작으로 착지하도록 지시하였으며, 맨 발인 상태로 양발 착지를 실시하였다. 측정 자료의 정확한 분석 및 평가를 위해 개인별로 5회 이상 실시하고, 이중 연구자와 피험자가 동작의 정확성과 함께 가장 안정적인 착지가 이루어졌다고 판단되는 3회의 자료를 분석하여 평균값을 최종 분석 자료로 활용하였다. 이때 피험자가 낙하 후 착지하는 전후 방향을 X축, 좌우 방향을 Y축, 지면과 수직 방향을 Z축으로 설정하였다. 드롭랜딩은 박스 위에서 서서히 전방으로 무게중심을 이동하여 자

유낙하를 통한 착지를 유도하였다. 착지 시 지면반력기 밖으로 착지하거나 착지 후 중심을 잡지 못하여 동작이 심하게 흔들린 경우 등은 실패로 간주하고 재측정을 진행하였다. 착지 후 최대 지면반력이 나타난 시점을 운동학적 및 운동역학적 변인 분석에 사용하였다.

3. 자료 처리 및 분석

운동학적 및 운동역학적 자료는 8대의 영상 분석 카메라로 구성된 동작분석장비와 2대의 지면반력기를 사용하였으며, 동작분석소프트웨어(Cortex 5, Motion Analysis Corp., USA)를 사용하여 영상데이터를 초당 120 frames으로 수집하였다. 자료 처리를 위해(Figure 2)와 같이 드

롭랜딩 후 최대 수직 지면반력(vertical ground reaction force, vGRF) 시점을 분석하였으며, 신체를 분절로 연결한 강체시스템으로 좌표화하여 분석하였다. 수집된 2차원상의 데이터는 NLT (non-linear transformation) 방법을 통해 3차원 데이터로 변환하였고, 데이터 처리 시 오차를 최소화하기 위해 차단 주파수를 10 Hz로 설정하였다. 지면반력 데이터를 초당 1,200 Hz로 샘플링하여 분석하였으며, 모든 자료의 시점을 일치시키기 위해 아날로그-디지털 컨버터(A/D converter, NI USB-6218, National Instruments, Hungary)를 통해 동조하여 측정하고 자료 분석에 사용하였다.

4. 통계 처리

본 연구의 모든 결과 처리는 Windows용 통계프로그램 SPSS 25.0 (IBM, USA)을 사용하였다. 모든 측정 항목들은 측정값의 평균 및 표

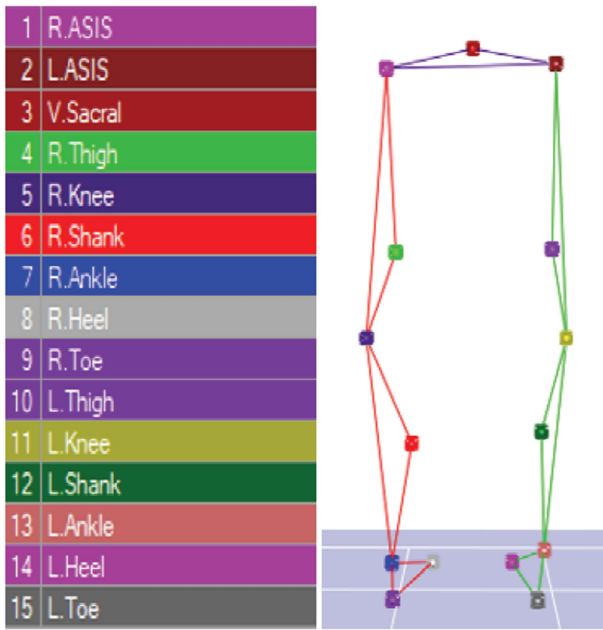


Figure 1. Dynamic Helen Hayes Markers set

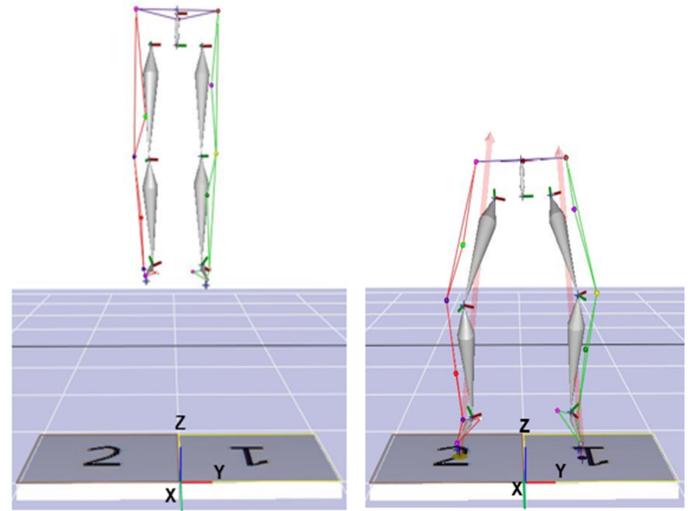


Figure 2. Point of peak vertical ground reaction force

Table 2. Results of isokinetic peak strength parameters of the participants (60°/sec)

Variables		Normal group	PFPS group	t	p	
Right	Extensor	Peak Torque (Nm)	133.13±25.65	86.73±22.26	5.291	<.0001***
		BW (%)	238.73±45.69	171.87±50.30	3.811	.001**
	Flexor	Peak Torque (Nm)	77.73±18.20	54.53±15.68	3.740	.001**
		BW (%)	138.40±27.47	106.53±28.66	3.109	.004**
	H/Q ratio		59.27±12.02	63.93±15.56	-.919	.366
	Left	Extensor	Peak Torque (Nm)	114.60±19.59	78.13±21.12	4.903
BW (%)			205.80±38.85	154.07±43.54	3.433	.002**
Flexor		Peak Torque (Nm)	70.60±14.12	48.93±15.24	4.039	<.0001***
		BW (%)	125.60±19.42	96.40±33.11	2.946	.007**
H/Q ratio		61.73±7.53	62.60±10.38	-.262	.795	

Note. Mean ± Standard Deviation, *p < .05, **p < .01, ***p < .001
 PFPS: Patellofemoral Pain Syndrome, BW: Body Weight, H/Q ratio: Hamstring quadriceps ratio

Table 3. Results of kinematics parameters of the subjects (°)

Variables		Normal group	PFPS group	<i>t</i>	<i>p</i>	
Right angle	Hip	Flexion	49.46±9.46	57.41±7.92	-2.495	.019*
		Abduction	4.18±4.51	4.71±5.35	-.292	.773
		Internal rotation	8.62±8.39	7.61±7.58	.346	.732
	Knee	Flexion	61.95±7.42	67.68±8.05	-2.028	.052
		Valgus	-8.20±3.89	-8.50±4.62	.191	.850
		Internal rotation	-8.62±11.49	-8.46±17.03	-.030	.976
Ankle	Plantarflexion	-7.41±8.45	-12.47±7.51	1.734	.094	
	External rotation	6.19±11.72	9.40±14.26	-.674	.506	
	Eversion	-25.21±8.88	-28.45±11.44	.867	.394	
Left angle	Hip	Flexion	49.07±11.06	56.83±7.77	-2.225	.034*
		Abduction	7.82±5.44	5.13±5.50	1.349	.188
		Internal rotation	15.16±10.20	17.85±4.73	-.929	.361
	Knee	Flexion	60.70±7.97	65.24±7.39	-1.617	.117
		Valgus	-15.73±6.17	-15.38±4.36	-.180	.859
		Internal rotation	-2.93±13.95	1.47±16.03	-.801	.430
	Ankle	Plantarflexion	-8.41±6.39	-11.90±6.12	1.528	.138
		External rotation	12.18±11.72	16.80±18.62	-.813	.423
		Eversion	-21.36±8.68	-26.56±10.33	1.492	.147

Note. Mean ± Standard Deviation, **p* < .05
 PFPS: Patellofemoral Pain Syndrome, BW: Body Weight, H/Q ratio: Hamstring quadriceps ratio

준편차를 산출하였고, 집단 간 변인 차이 규명을 위해 독립표본검증 (Independent samples *t*-test)을 사용하였으며, 모든 통계 처리의 유의 수준은 *p* < .05로 설정하였다.

RESULTS

1. 등속성 최대근력 비교

슬개대퇴동통증후 유무에 의한 집단 간 무릎관절의 60°/sec의 등속성 최대근력에 대해 비교한 (Table 2)의 결과와 같이, 최대근력(Nm)과 체중당 상대근력(%) 값에서 정상 집단이 슬개대퇴동통증후집단 보다 유의하게 높았으며, 대퇴근력비(H/Q ratio)는 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았다.

2. 운동학적 및 운동역학적 변인 비교

슬개대퇴동통증후 유무에 의한 집단 간 최대 지면반력 시점에서 하지의 운동학적 변인에 대한 비교 결과(Table 3)와 같이, 슬개대퇴동통증후 집단의 양측 고관절 굴곡에서 유의하게 크게 나타났다.

슬개대퇴동통증후 유무에 따른 집단 간 최대 지면반력 시점에서 하지의 운동역학적 변인 비교 결과는 (Table 4)와 같이, 양측 고관절의

외전 및 내회전 모멘트는 슬개대퇴동통증후 집단이 유의하게 작게 나타났으며, 양측 무릎관절의 내회전 모멘트는 슬개대퇴동통증후 집단이 유의하게 크게 나타났다. 왼쪽 발목관절의 외번 모멘트 값에서 유의하게 작게 나타났다.

(Table 5)는 착지 시의 최대 지면반력 시점에서 수직 지면반력과 압력중심에 대한 결과이며, 양측 전후 압력중심에서 집단 간 유의성이 나타났다.

DISCUSSION

본 연구의 목적은 여성 슬개대퇴동통증후 유무에 따른 드롭랜딩 동작의 차이를 통하여 하지 주요관절에서 나타나는 운동역학적 변화를 조사하여, 동적 움직임 메커니즘 조절을 위한 기초적인 특성에 대해 알아보는 것이다. 무릎관절 등속성 최대근력평가와 드롭랜딩 시의 하지 주요관절에서 나타나는 운동학적 및 운동역학적 변인의 비교를 통해 슬개대퇴동통증후 유무에 따라 드롭랜딩 동작의 특성을 비교 분석하여, 각 변인들이 슬개대퇴동통증후에 의해 어떤 영향을 받는지 알아보기 위해 실시하였다.

슬개대퇴동통증후는 무릎의 반복적인 사용으로 인해 무릎의 통증 빈도가 증가하게 되고, 무릎관절의 불안정성과 통증이 증가하는 현상으로(Waryasz & McDermott, 2008), 슬개대퇴동통증후의 임상적 진단

Table 4. Results of kinetics parameters of the participants (Nm)

Variables		Normal group	PFPS group	<i>t</i>	<i>p</i>	
Right moment	Hip	Flexion	-1.05±.051	-0.93±.056	-0.631	.533
		Abduction	.024±.038	-.011±.024	2.935	.007**
		Internal rotation	-.008±.015	-.020±.012	2.493	.019*
	Knee	Flexion	-.166±.037	-.194±.048	1.846	.075
		Valgus	-.019±.023	-.043±.052	1.587	.124
		Internal rotation	.003±.014	.017±.013	-2.951	.006**
	Ankle	Plantarflexion	.112±.049	.125±.047	-.747	.461
		External rotation	.052±.025	.054±.029	-.228	.506
		Eversion	.006±.025	-.008±.011	1.959	.060
Left moment	Hip	Flexion	-.078±.069	-.049±.065	-1.188	.245
		Abduction	.009±.032	-.024±.039	2.474	.020*
		Internal rotation	-.002±.014	-.020±.019	2.894	.007**
	Knee	Flexion	-.141±.024	-.150±.050	.641	.527
		Valgus	.018±.038	.001±.063	.903	.374
		Internal rotation	-.003±.017	.014±.023	-2.242	.033*
	Ankle	Plantarflexion	.110±.039	.108±.037	.144	.886
		External rotation	.050±.027	.049±.034	.091	.928
		Eversion	.011±.017	-.007±.027	2.240	.033*

Note. Mean ± Standard Deviation, **p* < .05, ***p* < .01
PFPS: Patellofemoral Pain Syndrome

Table 5. Results of vGRF and COP parameters of the participants

Variables		Normal group	PFPS group	<i>t</i>	<i>p</i>
Right	Peak vGRF	1.62±.264	1.78±.422	-1.266	.216
	M/L COP (mm)	148.12±44.56	151.57±44.57	-.212	.833
	A/P COP (mm)	236.90±30.44	270.48±49.85	-2.227	.034*
Left	Peak vGRF	1.46±.236	1.44±.345	.165	.870
	M/L COP (mm)	-149.30±44.57	-144.78±29.59	-.327	.746
	A/P COP (mm)	248.99±40.77	285.29±50.22	-2.174	.038*

Note. Mean ± Standard Deviation, **p* < .05

PFPS: Patellofemoral Pain Syndrome, vGRF: vertical ground reaction force, M/L: medial/lateral, A/P: anterior/posterior, COP: center of pressure

률은 11~17%로써 유병률이 높다(Petersen et al., 2017; Smith et al., 2016). 발병의 정확한 원인은 아직 밝혀지지 않았으나 슬개대퇴동통증후의 발생으로 추측되는 요인은 대퇴사두근의 약화, 내측광근의 활동 지연, 무릎의 과사용 및 잘못된 운동방법 등 발병의 원인은 매우 다양하다(Gaitonde et al., 2019).

본 연구의 무릎 등속성 근관절기능평가 결과에서 슬개대퇴동통증후 집단이 양측 모두 최대근력 및 체중당 상대근력 모두 정상 집단에 비해 유의하게 약했으며(*p* < .01), 이러한 결과는 선행연구에서의 결과와

유사하게 나타났다(Guney et al., 2016b). 특히 슬개대퇴동통증후 환자는 신전근의 약화가 더 나타나는 특징이 있다.

대퇴근력비율은 굴곡근과 신전근의 근력을 토대로 주로 안정성을 평가하는데 사용한다(Lima et al., 2018). 본 연구 결과에서는 슬개대퇴동통증후 집단과 정상 집단 간의 대퇴근력비율에서 유의한 차이가 나타나지 않아 선행연구들의 결과와 상반된 결과를 나타내었다(Guney et al., 2016a). 그러나 우세 다리인 오른쪽 다리의 대퇴근력비율에서 슬개대퇴동통증후 집단이 63.93±15.57%로 정상 집단의 59.27±12.02%에

비해 더 높게 나타났으며, 이는 신전근의 약화가 굴곡근 보다 크게 나타난다는 선행연구 결과와 일치한다(Apibantaweesakul, 2017; Guney et al., 2016a). 본 연구에서 슬개대퇴동통증후 집단과 정상 집단 간 대퇴근력비율에서의 유의한 차이는 나타나지 않았지만, 슬개대퇴동통증후 집단에서 굴곡근과 신전근 모두의 근력 약화로 인해 착지 패턴에서는 더 불안정한 모습을 보인 것으로 판단된다. 착지 시 최대 지면반력 시점의 운동학적 변인 비교 결과에서는 슬개대퇴동통증후 집단의 양쪽 다리 고관절의 굴곡각이 정상 집단보다 더 크게 나타났다($p < .05$). Nunes 등 (2019)의 성인 여성 52명을 대상으로 슬개대퇴동통증후 유무에 따라 한발 착지 시 나타나는 충격량과 동작의 비교 연구에서는 환자의 착지 패턴에서 고관절과 무릎 굴곡이 작게 나타나며, 이러한 착지 패턴으로 인해 무릎에 충격이 더 크게 나타날 수 있음을 보고하였다. 그러나 본 연구 결과에서는 슬개대퇴동통증후 집단의 고관절 굴곡이 더 크게 나타났는데, 이러한 착지 패턴은 Romanchuk 등 (2020)이 10대 청소년을 대상으로 실시한 드롭점프 시 하지관절의 에너지 흡수에 대한 연구에서 햄스트링의 약화로 인해 고관절 굴곡이 증가되었고, 이로 인해 고관절의 충격 흡수율이 증가하고 무릎의 충격 전달은 감소한 것으로 보고한 것과 유사한 패턴을 보인다.

운동역학적 변인 비교 결과에서는 슬개대퇴동통증후 집단의 양쪽 다리 고관절의 외전, 내회전 모멘트가 더 작게 나타났고 경골의 내회전 모멘트가 더 크게 나타났다($p < .05$). 선행연구에서도 착지 시의 고관절 내전 모멘트 증가는 무릎관절에 더 큰 충격을 준다고 보고하고 있어 본 연구 결과와 일치하였다(Lawrence III et al., 2008). 또한 착지 시에 경골의 내회전 모멘트 증가는 무릎관절에 더 큰 충격을 주며 무릎 부상과 밀접한 관련이 있다(Kiapour et al., 2016; Tran et al., 2016). Fujii 등 (2012)의 남녀 대학농구선수 10명을 대상으로 한발 착지 시 남녀의 모멘트와 근육 활성화에 대한 연구에서는 여성이 외측 햄스트링 근력의 약화로 인해 착지 시의 경골 내회전 각도와 내회전 모멘트가 더 크게 나타난다고 보고했다. 다른 선행연구에 따르면, 고관절 외회전근의 강화는 고관절 외회전 모멘트 및 무릎 내회전 모멘트를 증가시킨다고 보고하였다(Malloy et al., 2016). 이러한 결과들을 종합하여 보았을 때 슬개대퇴동통증후 환자는 착지 시 무릎의 통증을 줄이기 위해 고관절에서 더 큰 움직임을 만들어낸다고 판단된다.

슬개대퇴동통증후 집단의 오른쪽($p = .060$) 및 왼쪽($p = .033$) 발목관절에서 외번 모멘트가 더 작게 나타났다. 이러한 착지 패턴은 슬개대퇴동통증후 집단이 정상 집단에 비해 착지 시의 충격이 더 크고, 이를 환측과 분산하여 양측 발목에서 흡수하기 위한 착지 전략이라고 생각할 수 있다. 이와 관련하여 Terada와 Gribble (2015)은 재발된 발목관절의 염좌에 대한 사례 분석에서 만성적인 발목관절의 불안정성 환자들의 착지 패턴에서 충격을 흡수하기 위해 발목에 가해지는 요구를 증가시키고 이와 같은 발목 모멘트가 나타난다고 보고하였다.

본 연구 결과에서 슬개대퇴동통증후 집단의 전후 압력중심(right: 270.48 ± 49.85 , left: 285.29 ± 50.22)이 정상 집단의 전후 압력중심(right: 236.90 ± 360.44 , left: 248.99 ± 40.77)보다 크게 나타났으며($p < .05$), 이는 슬개대퇴동통증후 집단의 압력중심이 정상 집단보다 더 전방으로 이동되었음을 의미한다. 선행연구에서 착지 중 발목에서 충격을 흡수하기 위해 족저굴곡 모멘트가 증가하며, 이 때문에 전후 압력중심이 크게 나왔을 가능성이 있다고 보고하였다(Shimokochi et al., 2009). 또한 한발 균형 테스트 결과 만성적인 발목관절의 불안정성 집단이 정상

집단의 전후 압력중심보다 전방으로 이동되어 있다는 선행연구 결과(Pope et al., 2011)와 만성적인 발목관절의 불안정성 환자에게 균형 향상 훈련을 시킨 뒤 한발 균형 테스트 시 전후 압력중심이 후방으로 이동했다고 보고하였다(Mettler et al., 2015). 이러한 결과를 종합하여 보았을 때 슬개대퇴동통증후 집단의 착지가 정상 집단에 비해 더 불안정하다고 판단된다.

슬개대퇴동통증후 집단은 정상 집단보다 무릎관절의 등속성 최대근력이 약화되고 통증이 있기 때문에 착지 시에 더 불안한 패턴을 보인다고 판단되며, 선행연구에서도 근력의 약화는 더 불안정한 착지 패턴을 일으킨다는 결과를 보고하였다(Fujii et al., 2012). 본 실험에서는 슬개대퇴동통증후 집단은 착지 시의 충격을 줄이기 위해 고관절의 굴곡을 증가시켜 충격을 흡수하지만, 고관절의 내전, 외회전 모멘트와 무릎관절의 내회전 모멘트, 발목관절의 내번 모멘트가 증가하는 결과가 나타났다. 이는 착지 패턴의 개선 노력에도 관절로 착지의 충격이 전달된다고 판단될 수 있으며, 또한 전후 압력중심의 변화 또한 더 불안정한 패턴을 보여준다고 할 수 있다.

슬개대퇴동통증후의 발병 원인은 정확하게 밝혀지지 않았지만, 선행연구에서 슬개대퇴동통증후 환자에게 근력운동과 동작의 재교육, 능동적 및 수동적 재활운동을 적용한 결과, 근력 강화와 동작 시 고관절의 내전 및 무릎관절의 외전 패턴의 교정, 그리고 통증 수준의 완화 등의 효과를 보고하고 있다(Jeon & Park, 2016; Barton, Lack, Hemmings, Tufail & Morrissey, 2015; Graci & Salsich, 2015; Thomson, Krouwel, Kuisma & Hebron, 2016). 또한 슬개대퇴동통증후 환자의 불안정성 개선을 위해 이러한 착지 패턴과 관련된 변인들을 함께 활용한다면, 보다 효과적으로 슬개대퇴동통증후의 예방 및 개선에 긍정적인 영향을 줄 수 있을 것이다.

CONCLUSION

본 연구는 성인 여성의 슬개대퇴동통증후가 드롭랜딩 시 운동역학적 변화에 미치는 영향을 알아보았다. 이를 위해 무릎관절 등속성 최대근력과 드롭랜딩 시 운동학적 및 운동역학적 변인의 분석을 통해 슬개대퇴동통증후 유무에 따라 나타나는 동작 특성을 파악하여 향후 증상의 예방과 개선을 위한 기초자료를 제공하는 목적으로 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

슬개대퇴동통증후 환자는 착지 시에 고관절 굴곡을 증가시켜 충격을 흡수하기 위한 동작을 보이지만, 약한 근력과 불안정한 모멘트 패턴으로 인해 무릎관절에 충격이 전달된다고 판단된다. 게다가 착지 시에 더 불안정한 압력중심 패턴을 보이며, 그로 인해 관절에 더 큰 충격이 있는 것으로 나타났다.

REFERENCES

- Alentorn-Geli, E., Myer, G. D., Silvers, H. J., Samitier, G., Romero, D., Lázaro-Haro, C. & Cugat, R. (2009). Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 17(7), 705-729.
- Almonroeder, T. G. & Benson, L. C. (2017). Sex differences in lower

- extremity kinematics and patellofemoral kinetics during running. *Journal of Sports Sciences*, 35(16), 1575-1581.
- Apibantaweesakul, S. (2017). Comparison of Knee Muscle Balance at Different Knee Flexion Angles between Patients with Patellofemoral Pain Syndrome with Healthy Subjects. *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)*, 14(8), 637-643.
- Barton, C. J., Lack, S., Hemmings, S., Tufail, S. & Morrissey, D. (2015). The 'Best Practice Guide to Conservative Management of Patellofemoral Pain': incorporating level 1 evidence with expert clinical reasoning. *British Journal of Sports Medicine*, 49(14), 923-934.
- Boling, M. C., Padua, D., Marshall, S., Guskiewicz, K., Pyne, S. & Beutler, A. (2010). Gender differences in the incidence and prevalence of patellofemoral pain syndrome. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(5), 725-730.
- Boling, M. C., Nguyen, A. D., Padua, D. A., Cameron, K. L., Beutler, A. & Marshall, S. W. (2019). Gender-Specific Risk Factor Profiles for Patellofemoral Pain. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*.
- 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.
- 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.
- Fredericson, M. & Yoon, K. (2006). Physical examination and patellofemoral pain syndrome. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 85(3), 234-243.
- Fujii, M., Sato, H. & Takahira, N. (2012). Muscle activity response to external moment during single-leg drop landing in young basketball players: The importance of biceps femoris in reducing internal rotation of knee during landing. *Journal of Sports Science & Medicine*, 11(2), 255.
- Gaitonde, D. Y., Ericksen, A. & Robbins, R. C. (2019). Patellofemoral Pain Syndrome. *American Family Physician*, 99(2), 88-94.
- Graci, V. & Salsich, G. B. (2015). Trunk and lower extremity segment kinematics and their relationship to pain following movement instruction during a single-leg squat in females with dynamic knee valgus and patellofemoral pain. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(3), 343-347.
- Green, S. (2005). Patellofemoral syndrome. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 9(1), 16-26.
- Guney, H., Yuksel, I., Kaya, D. & Doral, M. N. (2016a). Correlation between quadriceps to hamstring ratio and functional outcomes in patellofemoral pain. *The Knee*, 23(4), 610-615.
- Guney, H., Yuksel, I., Kaya, D. & Doral, M. N. (2016b). The relationship between quadriceps strength and joint position sense, functional outcome and painful activities in patellofemoral pain syndrome. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 24(9), 2966-2972.
- Hewett, T. E., Myer, G. D., Ford, K. R., Heidt Jr, R. S., Colosimo, A. J., McLean, S. G. ... Succop, P. (2005). Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *The American Journal of Sports Medicine*, 33(4), 492-501.
- Jeon, K. K. & Park, S. Y. (2016). The Effect of Complex Functional Improvement for Lower Extremity to Rehabilitation Exercise in Patients with Patellofemoral Pain Syndrome. *The Korean Society Of Sports Science*, 25(4), 1347-1356.
- Kiapour, A. M., Demetropoulos, C. K., Kiapour, A., Quatman, C. E., Wordeman, S. C., Goel, V. K. & Hewett, T. E. (2016). Strain response of the anterior cruciate ligament to uniplanar and multiplanar loads during simulated landings: implications for injury mechanism. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(8), 2087-2096.
- Lawrence III, R. K., Kernozek, T. W., Miller, E. J., Torry, M. R. & Reuteman, P. (2008). Influences of hip external rotation strength on knee mechanics during single-leg drop landings in females. *Clinical Biomechanics*, 23(6), 806-813.
- Lee, S. P., Souza, R. B. & Powers, C. M. (2012). The influence of hip abductor muscle performance on dynamic postural stability in females with patellofemoral pain. *Gait & Posture*, 36(3), 425-429.
- Lim, B. O. & Park, Y. H. (2007). A Comparison of Sex-based Differences in Knee Neuromuscular Biomechanical Factors during Basketball Rebound Jump. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 17(3), 23-29.
- Lima, C. D., Brown, L. E., Ruas, C. V. & Behm, D. G. (2018). Effects of static versus ballistic stretching on hamstring: quadriceps strength ratio and jump performance in ballet dancers and resistance trained women. *Journal of Dance Medicine & Science*, 22(3), 160-167.
- Malloy, P., Morgan, A., Meinerz, C., Geiser, C. F. & Kipp, K. (2016). Hip external rotator strength is associated with better dynamic control of the lower extremity during landing tasks. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(1), 282.
- Mettler, A., Chinn, L., Saliba, S. A., McKeon, P. O. & Hertel, J. (2015). Balance training and center-of-pressure location in participants with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, 50(4), 343-349.
- Nascimento, L. R., Teixeira-Salmela, L. F., Souza, R. B. & Resende, R. A. (2018). Hip and knee strengthening is more effective than knee strengthening alone for reducing pain and improving activity in individuals with patellofemoral pain: a systematic review with meta-analysis. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 48(1), 19-31.
- Nunes, G. S., Barton, C. J. & Serrao, F. V. (2019). Females with patellofemoral pain have impaired impact absorption during a single-legged drop vertical jump. *Gait & Posture*, 68, 346-351.
- Orishimo, K. F., Liederbach, M., Kremenic, I. J., Hagins, M. & Pappas, E. (2014). Comparison of landing biomechanics between male and female dancers and athletes, part 1: Influence of sex on risk of anterior cruciate ligament injury. *The American Journal of Sports*

- Medicine*, 42(5), 1082-1088.
- Petersen, W., Ellermann, A., Gösele-Koppenburg, A., Best, R., Rembitzki, I. V., Brüggemann, G. P. & Liebau, C. (2014). Patellofemoral pain syndrome. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 22(10), 2264-2274.
- Petersen, W., Rembitzki, I. & Liebau, C. (2017). Patellofemoral pain in athletes. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 8, 143.
- Pope, M., Chinn, L., Mullineaux, D., McKeon, P. O., Drewes, L. & Hertel, J. (2011). Spatial postural control alterations with chronic ankle instability. *Gait & Posture*, 34(2), 154-158.
- Romanchuk, N. J., Del Bel, M. J. & Benoit, D. L. (2020). Sex-specific landing biomechanics and energy absorption during unanticipated single-leg drop-jumps in adolescents: implications for knee injury mechanics. *Journal of Biomechanics*, 110064.
- Saç, A. & Taşmektepligil, M. Y. (2018). Correlation between the Q angle and the isokinetic knee strength and muscle activity. *Turkish Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 64(4), 308.
- Shimokochi, Y., Yong Lee, S., Shultz, S. J. & Schmitz, R. J. (2009). The relationships among sagittal-plane lower extremity moments: implications for landing strategy in anterior cruciate ligament injury prevention. *Journal of Athletic Training*, 44(1), 33-38.
- Sisk, D. & Fredericson, M. (2019). Update of Risk Factors, Diagnosis, and Management of Patellofemoral Pain. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 12(4), 534-541.
- Smith, B. E., Hendrick, P. & Logan, P. (2016). Patellofemoral pain: Challenging current practice-A case report. *Manual Therapy*, 22, 216-219.
- Stephen, J., Alva, A., Lumpaopong, P., Williams, A. & Amis, A. A. (2018). A cadaveric model to evaluate the effect of unloading the medial quadriceps on patellar tracking and patellofemoral joint pressure and stability. *Journal of Experimental Orthopaedics*, 5(1), 1-10.
- Terada, M. & Gribble, P. A. (2015). Jump landing biomechanics during a laboratory recorded recurrent ankle sprain. *Foot & Ankle International*, 36(7), 842-848.
- Thomson, C., Krouwel, O., Kuisma, R. & Hebron, C. (2016). The outcome of hip exercise in patellofemoral pain: a systematic review. *Manual Therapy*, 26, 1-30.
- Tran, A. A., Gatewood, C., Harris, A. H., Thompson, J. A. & Dragoo, J. L. (2016). The effect of foot landing position on biomechanical risk factors associated with anterior cruciate ligament injury. *Journal of Experimental Orthopaedics*, 3(1), 13.
- Vora, M., Emily, C., Amanda, C., Elizabeth, M. & Xinning, L. (2017). Patellofemoral pain syndrome in female athletes: A review of diagnoses, etiology and treatment options. *Orthopedic Reviews*, 9(4).
- Waryasz, G. R. & McDermott, A. Y. (2008). Patellofemoral pain syndrome (PFPS): a systematic review of anatomy and potential risk factors. *Dynamic Medicine*, 7(1), 9.
- Willson, J. D. & Davis, I. S. (2008). Lower extremity mechanics of females with and without patellofemoral pain across activities with progressively greater task demands. *Clinical Biomechanics*, 23(2), 203-211.
- Yoon, T. I. & Kim, K. S. (2016). Gender Comparison of Muscle Activity and Strength in Gluteus Medius and Quadriceps and Knee Valgus Angle During Controlled Single-Leg Squat in Individuals With Patellar Femoral Pain Syndrome. *Physical Therapy Korea*, 23(1), 11-19.