

착지 방법에 따른 호핑 동작의 하지 관절 강성도 비교

Comparison of lower joint stiffness during hopping according to landing methods

*이경주^{1,2}, 손홍상^{1,2}, 김경윤^{1,2}, *김영호^{1,2}

*J. J. Lee^{1,2}, J. Son^{1,2}, J. Y. Kim^{1,2}, *Y. H. Kim(younghokim@yonsei.ac.kr)^{1,2}

^{1,2}연세대학교 대학원 의공학과, ^{1,2}연세의료공학연구원

Key words : joint stiffness, soft landing, stiff landing

1. 서론

호핑(hopping)은 작은 움직임이며, 체중을 이겨 몸을 띄워 올려 착지하고 충격을 흡수하는 등 여러 기능이 반복적으로 수행되는 운동이다.¹ 호핑 동작 중 착지 시 각 관절의 역할에 대해서 많은 연구자들이 관심을 가져왔고, 특히 근골격계 질환을 가진 환자의 경우에는 충격흡수 기전에서 정상인과 차이가 있음을 이용하여 하지 관절의 임상적인 평가 도구로도 쓰이고 있다. Johnson² 등은 발목 염좌 현상을 기능적으로 평가하는 도구로 호핑을 사용했으며, Moussa³ 등은 전방십자인대 (anterior cruciate ligament, ACL) 재건수술을 받은 지 2년이 지난 환자를 대상으로, 호핑을 통해 무릎 관절의 생체역학적 안정성을 환측과 건측으로 나누어 평가하였다. 호핑의 임상적인 쓰임을 활용하여, ACL 환자에게도 차후 이를 적용하기 위해, 점핑이 아닌 호핑으로 모델링하였다. 호핑 시 각 하지 관절의 역할 및 기전에 대한 이해를 도울 수 있는 지표로서 하지 강성도 및 하지 관절 강성도에 대한 연구가 이루어져 왔다. Farley⁴ 등은 호핑 동작 시 착지 구간의 움직임을 질량 탄성 모델(Spring-Mass Model)과 복합 관절 모델(Multi-Joint Model)로 설명하였다. 질량 탄성 모델에서는 전체 근골격계를 질량을 가진 하나의 스프링으로 가정하여 하지 강성도를 표현하였고, 복합 관절 모델에서는 관절을 회전 탄성 스프링으로 가정하여 관절 강성도를 표현하였다. Butler⁵ 등은 호핑 시 하지 각 관절의 강성도가 근골격계 손상과 연관이 있으므로 분석이 필요하다고 하였다. 본 연구에서는 착지하는 방법에 따라서 하지 관절 강성도가 다를 것이라는 가설을 세우고, 연구를 진행하였다.

2. 방법

근골격계 질환이 없는 건강한 성인 남성 5명 (나이 : 26.8 ± 1.5 yrs, 키 : 174.0 ± 6.6 cm, 몸무게 : 77.8 ± 10.9 kg)이 실험에 참가하였다. 16개의 반사 마커를 피험자들의 하지에 부착하였고, 삼차원 동작분석 시스템을 이용하여 마커의 궤적을 120Hz로 저장하였다. 이와 동기화된 2개의 힘측정판으로부터 지면반발력 데이터를 1080Hz로 획득하였다. 피험자들은 2개의 힘측정판에 각각 한쪽 다리를 위치하여 10cm 미만의 낮은 호핑을 연속적으로 수행하였다. 연성 착지와 경성 착지 각각 15번씩 실시하였고, 정확한 데이터 확보를 위해 앞뒤 5번을 제외한 가운데 5번의 데이터를 분석하였다. 이 과정을 5세트씩 반복하여 오른발 데이터를 분석하였다. 호핑 주파수는 전자식 메트로놈을 사용해 2.5Hz로 고정하여 실험하였다. 하지 관절 강성도는 착지 구간에서의 각 관절 모멘트의 변화값을 각 관절 각도의 변화값으로 나누어 구하였다. 통계분석 프로그램(SPSS)을 이용하여 paired *t*-test를 수행하였다.

3. 결과

Table 1은 연성 착지와 경성 착지 시 강성도의 차이에 대한 5명의 통계 분석 결과이다. 발목 관절 강성도는 경성 착지 시 연성 착지 시보다 약 1.34배 높았다. 발목 관절에서는 경성 착지 시 더 큰 발목 관절 모멘트가 발생하였으나, 발목 관절 각도의 변화는 연성 착지 시에 비해 적었다. 무릎 관절에서는 경성 착지 시보다 연성 착지 시 더 큰 모멘트와 각도 변화가 있었으나 관절 강성도는 유의한 차이가 없었다.

Table 1 Comparison of soft landing and Stiff Landing

	Soft Landing	Stiff Landing	Signify (p<0.05)
Ankle peak moment (Nm)	2.474 (0.238)	2.846 (0.304)	*
Knee peak moment(Nm)	0.666 (0.317)	0.376 (0.166)	*
Ankle angular displacement(rad)	0.516 (0.074)	0.448 (0.073)	*
Knee angular displacement(rad)	0.248 (0.096)	0.17 (0.065)	*
Ankle stiffness (Nm rad ⁻¹)	4.9 (0.892)	6.57 (1.529)	*
Knee stiffness (Nm rad ⁻¹)	2.998 (1.768)	2.665 (1.662)	

4. 토의

Granata⁶ 등이 발표한 연구에서는 호핑 주파수를 2.34(0.22)Hz 로 설정하였는데, 이는 본 연구에서 고정된 주파수와 비슷하였다. Devita⁷ 등은 착지 동작 시 발생하는 지면과의 충격력을 감소시키는 연성 착지와 충격력을 감소시키지 못하는 경성 착지로 분류 할 수 있는 기준이 필요하다고 하였다. 무릎 관절이 90°이상 굽곡이 되면 부드러운 착지로, 90°이하로 굽곡이 되면 경직된 착지로 그 기준을 설정하였다. 그러나 이는 한번 낙하 착지하는 실험에 대한 연구였으므로, 연속적인 호핑 시에는 적합하지 않았다. 본 연구에서 호핑을 실시한 결과, 무릎 관절 각도는 연성 착지가 37(3.25)도, 경성 착지는 22(2.75)도 였다. 무릎 관절의 각도 변화와 발생된 모멘트의 최대값 모두 연성 착지 시 더 컸고, 강성도의 차이는 확인할 수 없었다. 연성 착지를 이용한 호핑 동작은 무릎 관절의 더 큰 각도 변화를 통해 하지 강성도를 낮춤으로써 발목 관절의 충격을 완화시켜주는 기전으로 보인다.

5. 결론

본 연구의 목표는 호핑 시 착지 방법에 따른 하지 관절 강성도를 비교하는 것이다. 경성 착지 시 발목 관절 강성도가 더 큰 이유는 무릎 관절이 충격 완화 작용을 덜 일으켜, 발목에 가해지는 충격이 최대화 되기 때문이다. 추후 근전도 실험과 엉덩 관절 강성도에 대한 연구도 필요할 것이다.

후기

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술개발진흥원의 지역산업기술개발 사업 및 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성 사업으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

1. 김정윤, 유진호, 장동원, 김영호 “호핑 시 착지 방법에 따른 하지 충격 흡수,” 한국정밀공학회, 883-884, 2008.
2. Johnson, M. R. and Stoneman, P. D., “Comparison of a lateral hop test versus a forward hop test for functional evaluation of lateral ankle sprains,” The Journal of foot and ankle surgery, **46**, 3, 162-174, 2007.
3. Moussa, A. Z., Zouita, S., Dziri, C. and Salah, F. Z., “Single-leg assessment of postural stability and knee functional outcome two years after anterior cruciate ligament reconstruction,” Ann Phys Rehabil Med, **52**, 6, 475-484, 2009.
4. Farley, C. T. and Morgenroth, D. C., “Leg stiffness primarily depends on ankle stiffness during human hopping,” Journal of Biomechanics, **32**, 3, 267-273, 1999.
5. Butler, R. J., Crowell III, H. P. and Davis, I. M., “Lower extremity stiffness: implications for performance and injury,” Clinical Biomechanics, **18**, 3, 511-517, 2003.
6. Granata, K. P., Pauda, D. A. and Wilson, S. E., “Gender differences in active musculoskeletal stiffness.Part II .Quantification of leg stiffness during functional hopping tasks,” Journal of Electromyography and kinesiology, **12**, 2, 127-135, 2002.
7. Devita, P. and Skelly, W., “Effect of landing stiffness on joint kinetics and energetic in the lower extremity,” Medicine and Science in Sports and Exercise, **24**, 1, 108-115, 1992.