

# 페달링 수행 시 안장 높이가 하지관절의 운동학적 움직임에 미치는 영향 Effects of saddle height on the kinematics of lower extremity during pedaling performance

\*강민성, 오호상, 최진승, 강동원, 문경률, 방운환, 김한수, #탁계래

\*M. S. Kang, H. S. Oh, J. S. Choi, D. W. Kang, K. R. Mun, Y. H. Bang, H. S. Kim, #G. R. Tack(grtack@kku.ac.kr).  
건국대학교 의료생명대학 의학공학부, 의공학실용기술연구소

Key words : Saddle height, Pedaling load, Trajectory, Jerk, Joint angle

## 1. 서론

최근 건강 증진과 운동을 위해 자전거를 이용하는 인구가 늘어감에 따라, 자전거의 이용 시 적절한 자세에 대한 고찰이 필요하다. 페달링 시 부적절한 자세는 신체적 변형 및 부상을 일으킬 수 있으며, 운동의 효과를 반감시킬 수도 있다(한민용, 등 2009). 따라서 자전거 이용 자세에 따른 페달링 동작 평가가 필요하다.

자전거의 주요 운동부분은 하지의 페달링이다. 자전거의 구조 중 페달링 동작형태 자세에 영향을 주는 요소는 프레임의 크기 및 형태(Frame size and type), 크랭크 암의 길이(crank arm length), 안장 높이(saddle height), 신발 두께(shoes thickness) 등 다양하다. 현재까지 안장높이에 따른 파워, EMG, 심박수 등의 연구는 많이 진행되어 왔지만(Horscroft, R D., et al, 2003, Shimpei Matsumoto., et al, 2009, Javier Gamez., et al, 2008, Irwin, Daniel R., et al, 2007), 안장 높이에 따른 페달링의 운동학적 평가를 위한 대표변인 추출은 수행되지 않았다는 점에 기인하여 본 연구에서는 일반적인 자전거 이용 시, 조절이 용이한 안장 높이 변화에 따른 하지 관절의 움직임을 운동학적 측면에서 살펴보고, 이를 표현하는 대표 변인에 대해 고찰해 보았다.

## 2. 실험방법

### 2.1 실험대상

실험은 상·하지 근골격계 질환이 없는 20대 대학생 10명을 대상(평균 나이 26.2세, 평균 키 172.20cm, 평균 몸무게 69.7kg)으로 시행하였다. 피험자는 사이클 운동 경험이 없는 일반인이며, 테스트 전 사전 동의를 구한 후 실험을 실시하였다.

### 2.2 실험방법

본 연구에서는 Holmes의 방법을 사용하여 적절한 안장높이를 middle로 사용하였다. 이는 페달이 최고 낮은 지점에 위치하는 최저위점(Dead Center Point)을 이용하여 적절한 안장 높이를 선정하는 것으로(Edmund R. Burke, 2003), 이보다 높은 안장높이(high)와 낮은 안장높이(low)총 3가지 높이로 실험하였으며, 이에 대한 내용은 <Table 1>과 <Fig. 1>에 나타내었다. 분석변인은 페달링 시 하지관절(무릎관절, 발목관절)의 각도(angle), 무릎관절의 움직임 범위(range of motion, ROM), 동작의 부드러움(Smoothness)을 나타내는 정규저크(normalized jerk)를 사용하였다.

일반적인 고정형 사이클 운동기구(health cycle, Hanshin Sports, Korea)를 사용하여 실험을 수행하였다. 피험자는 실험을 수행하기 전, 사이클 운동기구에서 충분한 연습시간을 가졌다. 연습 후 실제 실험은 메트로놈(metronome, Intelli, Korea)을 이용해 초당 1.2바퀴 페달링을 3분간 수행하도록 하였다. 피험자는 메트로놈의 박자 소리에 맞춰 페달링을 최대한 자연스럽게 수행하며, 시작과 끝의 알림은 구두로 실시되었다. 각 피험자마다 안장높이(3가지) 별로 총 3회의 테스트가 실시되었다.

Table 1 Saddle Heights

Saddle height	High	Middle	Low
Angle of Knee			
Join at Dead	155° ~ 165°	145° ~ 155°	135° ~ 145°
Point Center			

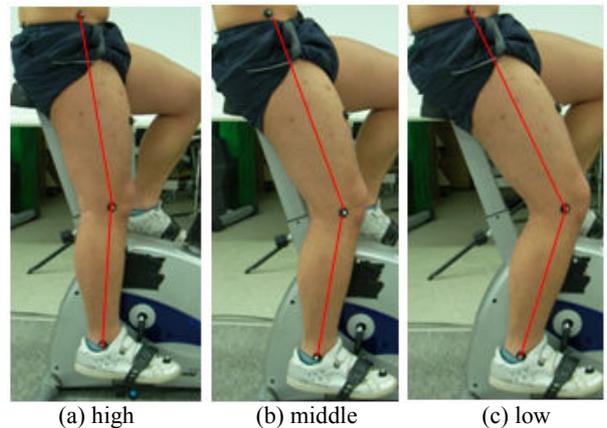


Fig. 1 Saddle height

실험 시 일정한 데이터 획득을 위해 피험자는 하지의 급격한 움직임이 제한되었으며, 무작위순으로 실험을 수행하였고, 3분의 실험 후 1분의 휴식 시간을 주어 다음 실험에의 영향을 최소화하였다.

### 2.3 데이터 수집 및 통계처리

3D 동작분석시스템(Motion analysis Corps., USA)을 사용하였으며, 동작 원데이터(raw data)의 에디팅(editing) 과정을 거친 후 움직임 범위와 저크 분석을 위해 Matlab v7.7(Mathworks Inc.), 관절각도 분석을 위해 SIMM(MusculoGraphics Inc., USA)을 사용하였다. 동작데이터는 120Hz로 획득하였다. 통계적 분석을 위해 SPSS 16.0k(SPSS Inc., USA)를 사용하여 ANOVA 및 t-검정하였으며, 유의차는 p<.05으로 하였다.

### 2.4 분석 과정

#### ① 각도

SIMM 프로그램을 이용하여 각도 데이터를 획득했다. 이 때 각도 데이터 분석은 시간에 따른 각도의 변화 형태(무릎, 발목)로 이루어졌다.

#### ② 움직임 범위

관절의 움직임 범위를 분석하기 위해, 무릎과 발목의 전후(anterior-posterior), 좌우(medio-lateral), 수직(vertical) 방향의 움직임을 비교하였다.

#### ③ 저크

아래의 식을 사용해 동작의 숙련도를 나타내는 정규저크(normalize jerk, NJ)를 사용하였다(Alan Hreljac., et al, 1993).

$$NJ = \sqrt{\frac{1}{2} \int_0^T \left( \frac{d^3 r}{dt^3} \right)^2 * \frac{T^5}{L^2}}$$

r = 마커의 위치 벡터

T = 전체 동작에 걸리는 시간  
L = 전체 동작 중에 움직인 거리

### 3. 실험결과

#### 3.1 각도(Angle)

<Fig 2>는 ‘•••’는 high, ‘- -’는 middle, ‘—’는 low 일 때 무릎관절과 발목관절에서의 페달링 각도 변화를 의미한다. 내려가는 페달링 시점( $t=0-50$ , 능동적 페달링 구간)에서 high와 low간의 무릎각( $p=.025$ )과 발목각( $p=.014$ )에서 통계적 유의차가 나타났다. middle에서 각도 변화는 급격한 변화없이 부드러운 동작을 수행하지만, high와 low에서는 급격한 각도 변화가 나타났다.

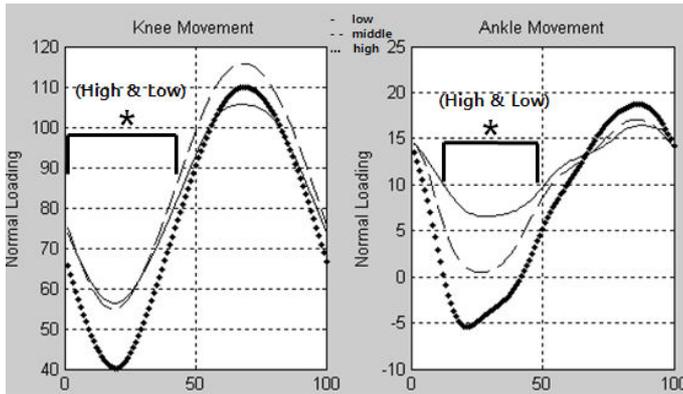


Fig. 2 Angles of knee and ankle joint during pedalling (extension-flexion)

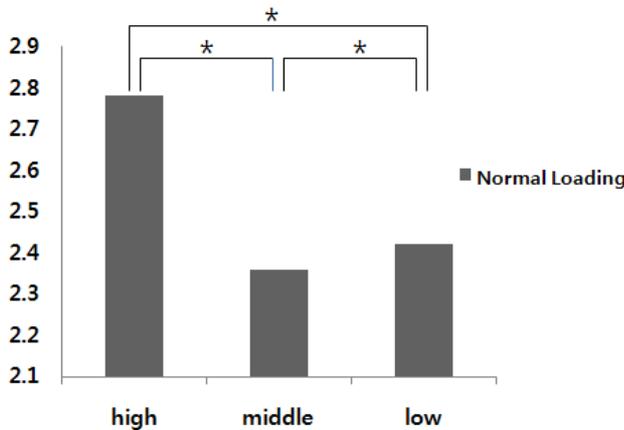


Fig. 3 Range of motion at knee joint during pedalling (medio-lateral direction)

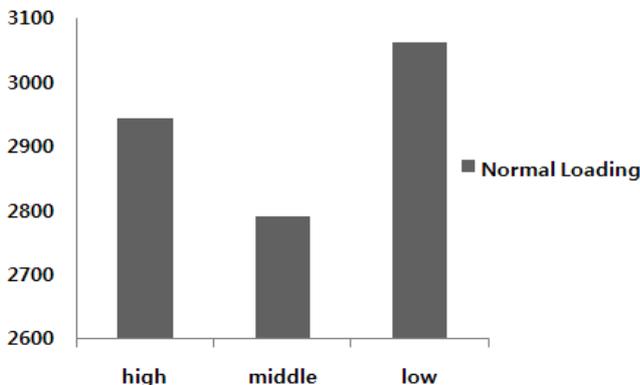


Fig. 4 Normalized Jerk at knee joint (all direction)

#### 3.2 움직임 범위(ROM)

실험 분석결과 무릎 좌우(medio-lateral) 방향 ROM에서 각 안장높이 간의 유의차가 나타났으며(high-middle 간  $p=.004$ , high-low 간  $p=.001$ , low-middle 간  $p=.029$ ), 크기는 middle<low<high 순으로 분석되었다(Fig 3). 발목에서 유의차는 나타나지 않았다.

#### 3.3 정규 저크(Normalized Jerk)

무릎의 전체 방향 저크 값은 middle<high<low 순으로 분석되었고, 통계적 유의차는 나타나지 않았다(Fig 4). 발목에서 유의차는 나타나지 않았다.

#### 3.4 결과 정리

세 가지 변인에서의 결과와 그 결과가 나타난 위치와 방향에 대해 Table 2에 정리하였다.

Table 2 Results as saddle heights

변인	결과	위치 & 방향
각도	low < high	신전 운동구간
움직임 범위	middle < low < high	무릎의 좌우 방향
저크	middle < high < low	무릎의 전체 방향

### 4. 토의 및 결론

각도 변화에서는 무릎의 신전구간(페달링이 내려가는 능동구간)에서 high와 low 간의 유의차가 나타났으며, 이는 예상했던 것과 일치하는 결과이다. 이에 대해 좌우방향(medio-lateral direction)의 ROM에서는 low일 때 가장 작을 것이라는 예상과 달리 middle에서 가장 작게 나타났다. ROM이 가장 작은 것과 관련해 통계적인 유의차는 없었으나 정규저크도 가장 낮게 나타났다. 즉, middle일 때 페달링의 운동 범위가 가장 작고, 숙련되게 수행되었다는 것을 의미하며, 참고문헌에서 제시한 적절한 안장높이의 의미와 일치한다.

본 실험은 안장높이 변화에 따른 낮은 부하의 꾸준한 페달링 시 각도, 움직임 범위, 저크의 변화를 비교하였다. 그 결과, 안장높이에 따른 각 변인의 변화가 관찰되었다. 이는 다양한 부하와 프레임 조건 변화 등의 추가연구를 통해 신체에 무리가 적고 운동에 효율적인 안장높이를 산출하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

#### 후기

위 논문은 문화체육관광부의 스포츠산업기술개발사업에 의거 국민체육진흥공간의 국민체육진흥기금을 지원받아 연구되었습니다.

#### 참고문헌

1. Shimpei, M., Tatsushi, T. and Keichi, O., "A study on postural optimization of bicycle exercise based on electromyography", *Artif Life Robotics*, 14:144-149, 2009
2. Gamez, J., Zarzoso, M., Raventos, Alex., Valero, M., Alcantara, E., Lopez, A., Prat, J. and Vera, P., "Determination of the Optimal Saddle Height for Leisure Cycling", *The engineering of sport*, 188, 2008
3. Peveler, W. W., "The Effect Of Saddle Height On Economy In Highly Trained Cyclists", *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41:5-10, 2009
4. Horscroft, R D., Davidson, C J., McDaniel, J., Wagner, B M. and Martin, J C., "Effects of Saddle Height on Joint Power Distribution", *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35:5-16, 2003
5. Irwin, D. R., Alford, K. and von Duvillard, S. P., "Different Saddle Heights, Cardiorespiratory, Heart Rate, and Blood Lactate Responses During Cycle Ergometry", *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39:5-446, 2007
6. Edmund, R. B., "High-Tech CYCLING", *Human Kinetics*, 76p
7. Hreljac, A. and Martin, P. E., "The relationship between smoothness and economy during walking", *Biological Cybernetics*, 69, 213-218, 1993
8. 한민용, 김진홍, 최문기, "자전거 안장높이 조절이 운동수행 중 HR, Lactate 및 Glucose 변화에 미치는 영향", *운동사대회*, 10회, 2009