

# The Effects of Obesity on Joint Kinematics during Manual Lifting

Haeseok Jeong and Woojin Park

Department of Industrial Engineering, Seoul National University, Seoul, 151-744

## ABSTRACT

**Objective:** The aim of this study is to quantitatively investigate the effects of obesity on joint kinematics during lifting.

**Background:** Obesity is considered as one of the potential risk factors for work-related musculoskeletal disorders (WMSD) including lifting-related low back pain (LBP). As obesity is dramatically on the rise in many countries, the relationship between obesity and lifting-related LBP is of growing interest. However, little is known about the impact of obesity on lifting behavior, including lifting kinematics.

**Method:** Six severely obese ( $BMI \geq 35 \text{ kg/m}^2$ ) and six non-obese participants ( $18.5 \text{ kg/m}^2 \leq BMI \leq 24.9 \text{ kg/m}^2$ ) performed sagittally symmetric box lifting. For each participant, optical markers were placed on anatomical landmarks and lifting movement data were collected using an optical motion capture system. Five different joint angles were measured over time.

**Results:** Severely obese participants tended to choose more stooped posture (flexing the hip rather than knee) compared with the control group at the beginning of the lifting motion. Also, for some of the body joints, the two participant groups showed differences in joint kinematic variables, including joint angle excursion and peak flexion angle.

**Conclusion:** It was found that obesity affects joint kinematics during manual lifting. Further investigation is needed to understand the physical impacts of obesity-related lifting kinematics.

**Application:** Understanding the obesity impacts on lifting kinematics may help design lifting tasks safe for workers with different physical characteristics

Keywords: Lifting, Obesity, Optical motion capture, Joint kinematics, Musculoskeletal disorder, Low back pain

## 1. Introduction

비만과 과체중은 신체 지방이 과도하게 있는 상태로 정의된다. 비만의 정도를 표현하는 가장 대표적인 지표로는 체중을 키의 제곱으로 나누어 계산하는 BMI(Body mass index)가 있다. BMI가 30 이상인 경우 비만으로, 25이상 30이하인 경우 과체중으로 분류된다.

전세계적으로 비만인구의 비중은 급격하게 증가하고 있다. 비만에 관한 질병으로 인해 전세계적으로 매년 최소 280만명이 사망한다 (WHO, 2014). 비만은 고혈압이나 당뇨병과 같은 질병 외

에도 관절 장애와 같은 근골격계 질환을 발생시키는 원인으로 여겨진다 (Wearing et al., 2006). 비만으로 인한 과도한 지방 하중이 인대나 연골과 같은 연조직(soft tissue)에 영향을 주는 것으로 알려져 있지만, 그 구체적인 메커니즘은 아직 분명하게 밝혀지지 않았다.

물건을 들어올려 옮기거나 반복적인 작업을 수행하는 근로자들이 겪는 대표적인 근골격계 질환 중 하나는 요통이다 (Andersson, 1999). 요통은 치료에 많은 비용이 들고 기업의 입장에서 막대한 손실을 야기해 왔다 (Frymoyer et al., 1991). 전세계적으로 비만인 근로자의 비중이 점점 높아짐에 따라 이러한 손실이 앞으로 더욱 커질 것으로

예상된다.

본 연구에서는 비만인과 일반인 두 그룹에 대해 상자 들기 작업 실험을 수행하였다. 그룹 간 발생하는 차이를 기구학적 측면에서 분석하여, 비만이 상자를 들어올리는 운동에 어떤 영향을 미치는 지 해석해 보았다.

## 2. Method

### 1.1 Participants

실험에 참여한 피실험자들은 두 개의 그룹으로 나뉘었다. 첫 번째 그룹은 일반적인 BMI 범위 ( $18.5\text{kg}/\text{m}^2 \leq \text{BMI} \leq 24.9\text{kg}/\text{m}^2$ )에 해당하는 일반인 그룹이고, 두 번째 그룹은 심각한 비만을 겪는 사람( $\text{BMI} \geq 35\text{kg}/\text{m}^2$ )으로 비만인 그룹으로 분류하였다. 각 그룹 별로 6명씩 근골격계 질환이나 요통 이력이 없는 피실험자들을 모집하였다. 다음 Table 1은 피실험자들의 나이와 BMI를 정리한 표이다.

**Table 1.** Characteristics of the participants

	Non-obese (N=6)	Obese (N=6)
Age range [years]	23~35	25~36
Weight [kg]*	67.5±5.84	144.34±17.49
Height [cm]	173.2±4.52	171.3±4.45
BMI [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ]*	21.8±1.37	45.13±6.32

M ± SD \* $p < .05$ .

실험이 수행되기 이전에 피실험자들은 실험에 대한 설명을 듣고 실험에 익숙해지기 위한 연습을 하였다. 의도하지 않은 결과의 편향이 발생하는 것을 막기 위해 기본적인 안내 외의 다른 지시는 없었다.

### 1.2 Experiment

피실험자들은 바닥에 정면으로 위치한 상자를 두 손으로 들어올려 목적지에 놓는 실험을 수행하였다. 본 실험에서는 한쪽 측면(sagittal plane)에서 바라본 데이터를 분석하였다.

상자의 무게는 National Institute for Occupational

Safety and Health(NIOSH)에서 제안하는 무게(RWLs; Recommended Weight Level)를 사용하였다. NIOSH에 따르면 이 무게 이하에서 물건을 들어 올리는 작업을 수행할 때, L5/S1에 가해지는 압축력이 3400N 이하가 되어 대부분의 건강한 근로자들에게 요통이 발생하지 않는다 (Waters et al., 1993). 다음 Table 2는 상자의 초기 위치와 도착지에 대한 내용이다.

**Table 2.** Lifting task condition

Origin		Destination		RWL [kg]
Horizontal location [cm]	Vertical location [cm]	Horizontal location [cm]	Vertical location [cm]	
30	52	48	93	12.5

피실험자들은 바닥에 놓여있는 상자의 손잡이를 잡아 상자를 들어올렸다. 개인마다 편하고 자유로운 방식(free-style lifting)으로 상자를 들어올려 선반에 내려 놓도록 하였다. 반복적인 수행에 의한 근육의 피로를 방지하기 위해 각 시행은 10분에 한번씩 실시되었다.

### 1.3 Data collection and processing

상자를 들어올리는 동작을 기록하기 위해 VICON motion capture system을 사용하였다. 12개의 카메라가 피실험자의 해부학적 주요 위치에 부착된 광학 마커(optical marker)의 위치를 기록하였다. 부착된 마커들의 시간에 따른 위치 궤적은 데이터들은 120Hz로 수집되었다. 마커의 위치 데이터들은 신체 내부에 위치한 관절들(발목, 무릎, 엉덩이, 어깨, 팔꿈치)의 각도를 예측하는 계산에 사용되었다. 이러한 계산에는 Plug in Gait Model에서 제공하는 알고리즘을 사용하였다 (Workstation, 2004). 본 연구에서 주로 분석의 대상이 되는 신체 부위는 무릎관절과 고관절이다. 다음 Figure 1은 관절의 각도를 정의한 것으로 한쪽 측면(sagittal plane)에서 바라본 것이다.

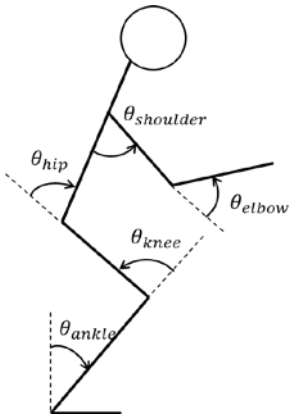


Figure 1. Joint angle definitions

비만 피실험자들 중 일부의 경우 마커를 붙이고 이의 위치를 기록하는 과정에서 어려움이 있었다. 과도한 복부지방으로 인해 고관절의 위치를 결정하는 Left Anterior Superior Iliac(LASI)와 Right Anterior Superior Iliac(RASI)에 마커를 붙이기 쉽지 않은 경우가 있었으며, 마커를 붙이더라도 동작 중간에 살이 마커를 가려서 위치가 기록이 되지 않은 경우도 있었다. 이러한 문제들은 피실험자들을 눕혀 LASI와 RASI를 찾기 쉬운 상태에서 마커를 붙이거나, 두 마커를 골반 중심으로부터 일정거리 평행 이동시켜 고관절의 위치를 계산하였다. 데이터 수집 이후 데이터를 3D 시각화하여 운동을 관찰하는데 Mocca를 사용하였고, 데이터를 다듬고 정리하는 데 Matlab 프로그램을 활용하였다.

### 3. Results

본 실험에서는 상자를 들어올리는 작업을 수행할 때, 일반인 그룹과 비만인 그룹 간 발생하는 기구학적 차이를 분석하였다. 분석에 활용된 측정치는 시간에 따른 무릎관절과 고관절의 각도 궤적, 관절각 변화량(excursion), 작업 수행 시간, 초기의 작업자세 등이다.

#### 3.1 Angle-time trajectory of joint and joint excursion

Figure 2, 3은 무릎관절과 고관절의 시간에 따른 각도 궤적의 평균을 그룹별로 나타낸 것이다.

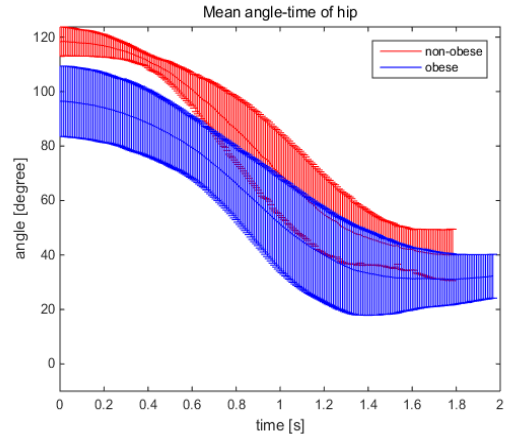


Figure 3. Mean angle-time trajectory of hip

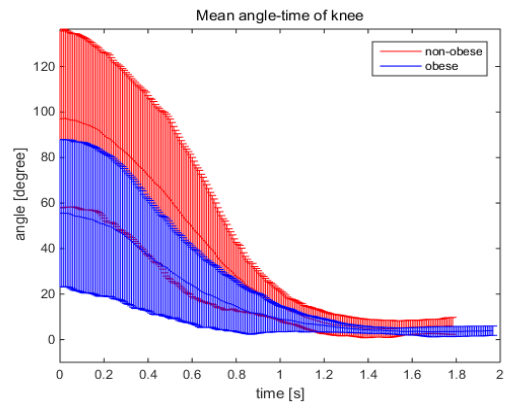


Figure 2. Mean angle-time trajectory of knee

Figure 4, 5는 일반인 그룹과 비만인 그룹 별로 관절의 최소 각도, 최대 각도, 관절 운동 범위의 평균을 나타낸 것이다.

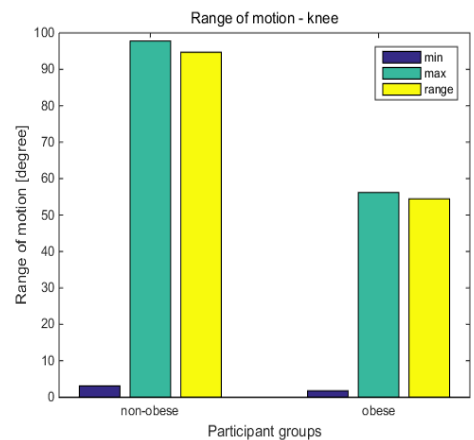


Figure 4. Knee excursion

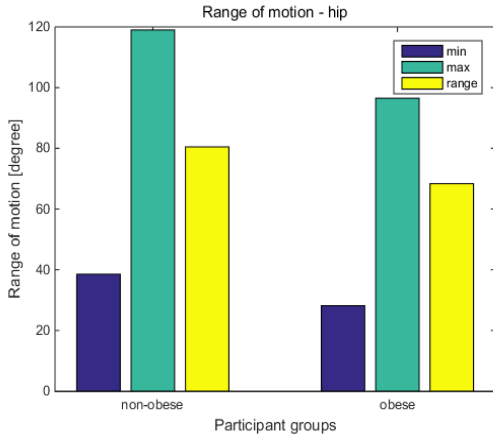


Figure 5. Hip excursion

### 3.2 Duration

Figure 6는 상자를 들어올리는 작업을 수행하는데 걸리는 시간을 그룹별로 비교한 것이다.

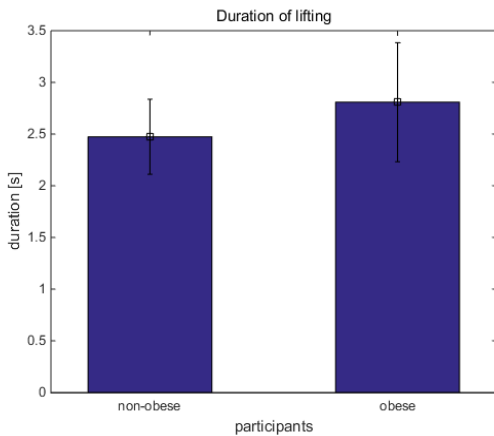


Figure 6. Duration of lifting

Table 3은 일반인과 비만인 사이의 관절의 평균 각속도를 비교한 것이다.

Table 3. Angular velocity of knee and hip joint

Group	Angular velocity of knee [°/s]	Angular velocity of hip [°/s]
Non-obese	38.33	32.58
Obese	19.37	24.32

### 3.3 Angle-angle plot

Figure 7은 무릎관절의 각도에 따른 고관절의 각도의 변화를 나타낸 것이다. 그래프의 우측 상단 지점은 피실험자가 상자의 손잡이를 잡은 상태이고 좌측 하단은 상자를 목적지에 놓은 것에 대응된다.

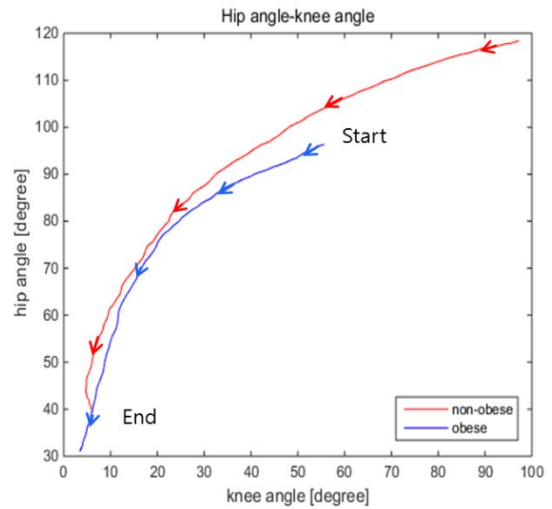


Figure 7. Angle-angle plot between hip and knee

## 4. Discussion and Conclusion

상자를 드는 작업을 시작할 때, 일반인 그룹이 비만인 그룹에 비해 특히 무릎 관절을 더 많이 굽히는 경향성이 있었다 (Figure 2, 3). 상자를 목적지에 놓기 직전에는 두 그룹 간 자세의 큰 차이가 없었다. 고관절의 오차 막대 그래프를 살펴보면, 비만인의 각도 분산이 일반인보다 초반에 더 크다는 것을 확인할 수 있다 (Figure 3). 무릎과 골반에는 슬괵근(hamstring)과 같은 양관절 근육(biarticular muscle)이 있다. 상자를 들어 올리는 움직임에서 길항근(antagonistic muscle)으로 작용하는 슬괵근은 고관절의 신장(extension)뿐만 아니라 신체의 균형을 유지하는 데 큰 역할을 한다 (Solomonow, 1987). 따라서 일반인이 상대적으로 고관절의 개인 편차가 작아 동질적인 움직임을 보인다.

관절각변화량을 살펴보면 무릎관절은 두 그룹 간 차이가 확인됐지만, 고관절은 그룹 간 차이가 상대적으로 적었다 (Figure 4, 5). 이는 비만과 관

절가동범위(range of motion)의 연관관계를 분석한 기존 논문들과 비슷한 경향성을 가진다. 비만으로 인해 무릎관절의 관절가동범위가 줄어들었지만 (Park, 2010), 고관절의 관절가동범위에는 큰 영향을 미치지 못하였다 (Gilleard, 2007)는 연구들이 있다. 이를 통해 비만인의 관절각변화량은 관절가동범위와 밀접한 관련이 있다고 볼 수 있다.

비만인 그룹의 관절은 동작 범위는 더 작지만, 작업 수행 시간은 더 컸다 (Figure 6). 즉, 비만인이 일반인과 비교하면 상자를 들어 올리면서 관절의 각속도가 상대적으로 느린 경향성을 갖는 것을 알 수 있다 (Table 3). 체중이 증가할 때, 신체의 균형을 지탱하는 발바닥(base of support)은 체중에 비례하여 커지지 않는다. 따라서 비만인이 일반인에 비해 상대적으로 신체 균형이 불안하게 되고, 동작의 속도를 낮추는 방향으로 적응한 것으로 생각된다. 비만인이 걸을 때, 관절의 각속도가 일반인에 비해 느리다는 연구 (Lai et al., 2008)와 흡사한 결과이다.

비만인 그룹이 상자를 들어 올릴 때 고관절이 무릎관절 보다 평균 속도가 빠르지만, 일반인 그룹은 무릎관절이 고관절에 비해 평균적으로 더 빠르게 신장하였다. 이는 비만인이 일반인보다 고관절에 더 많이 의존하여 상자를 드는 것을 의미한다. 즉, 비만인 그룹은 허리를 들어 올려 상자를 드는 방법(stoop)을 주로 사용하고, 일반인 그룹은 허리보다 하체를 사용하는 방법(squat)을 선택하였다. 더 무거운 상자를 들수록 허리를 사용하여 물건을 든다는 기존 연구 (Burgess-Limerick et al., 1997)와 본 연구를 연관 지을 수 있다. 신체 각 부위에 위치한 과도한 지방이 상자의 무게를 무겁게 하는 효과를 발생시키고, 따라서 비만인이 무릎보다 허리를 써서 상자를 들게 되는 것이다.

관절들의 협응 측면에서 움직임을 해석할 수도 있다 (Figure 7). 두 그룹 모두 상자를 들어 올림과 동시에 무릎과 고관절은 펴지기 시작한다. 일반인의 작업 수행 초기에는 무릎관절이, 상자를 목적지에 내려놓을 즈음에는 고관절이 더 빨리 신장하는 규칙성을 가진다 (Burgess-Limerick et al., 1993). Figure 7에서는 두 그룹의 그래프 모양이 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다. 앞선 결과를 종합해 볼 때, 사람이 비만해 지면서 평균적인 관절의 신장 속도와 관절 간 상대적인 속도는 변화하지만, 무릎관절이 먼저 빨라지고 그 뒤에 고관절이 빨라지는 관절의 속도변화 패턴(proximal-distal movement pattern)에는 변함이 없다.

본 연구는 비만한 근로자들이 효율적으로 작업

하는 환경을 조성하는 데 응용될 수 있을 것이다. 비만인의 작업 수행 시간이 일반인보다 상대적으로 느리므로 이를 고려하여 수용력을 넘는 과도한 업무에 의한 부상 혹은 실수를 방지할 수 있다. 또한, 비만인의 관절가동범위와 패턴을 고려하여 작업장이나 작업도구의 설계를 변경하여 최적화된 작업 환경을 설계할 수 있을 것이다.

실험 결과는 관절 각도와 속도 위주의, 운동학적 측면에서만 분석되었다. 향후 연구에서는 근육과 관절에 실제 가해지는 힘과 모멘트를 고려하는 동역학적인 관점에서 문제를 해석하는 것이 필요하다. 이 외에도 근신경계의 제어를 신체 동작에 접목해 비만인이 스스로 선택한, 과도한 지방에 적응된 자세들을 분석할 수 있을 것이다.

## References

- Waters, Thomas R., et al., Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks, *Ergonomics*, 36(7), 749-776, 1993.
- Workstation, Plug in Gait Mode, Vicon Workstation Version 4.5, *Vicon Motion Capture Systems*, 2004.
- Frymoyer, J. W., and W. L. Cats-Baril., An overview of the incidences and costs of low back pain, *The orthopedic clinics of North America*, 22(2), 263-271, 1991.
- World Health Organization Home Page, <http://www.who.int/> (retrieved September 22, 2015)
- Wearing, Scott C., et al., Musculoskeletal disorders associated with obesity: a biomechanical perspective, *Obesity reviews*, 7(3), 239-250, 2006.
- Andersson, Gunnar BJ., Epidemiological features of chronic low-back pain, *The lancet*, 354(9178), 581-585, 1999.
- Solomonow, M., et al., The synergistic action of the anterior cruciate ligament and thigh muscles in maintaining joint stability, *The American Journal of Sports Medicine*, 15(3), 207-213, 1987.
- Gilleard, W., and T. Smith., Effect of obesity on posture and hip joint moments during a standing task, and trunk forward flexion motion, *International Journal of Obesity*, 31(2), 267-271, 2007.
- Park, W., et al., Obesity effect on male active joint range of motion, *Ergonomics*, 53(1), 102-108, 2010.
- Lai, Peggy PK, et al., Three-dimensional gait analysis of obese adults, *Clinical biomechanics*, 23, S2-S6, 2008.
- Burgess-Limerick, Robin, and Bruce A., Qualitatively different modes of manual lifting, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 19(5), 413-417, 1997.
- Burgess-Limerick, Robin, Bruce A., and Robert J. Neal., Relative phase quantifies interjoint coordination, *Journal of Biomechanics*, 26(1), 91-94, 1993.

## Author listings

**Haeseok Jeong:** jhs0538@snu.ac.kr

**Highest degree:** Bachelor of Engineering, Department of Industrial Engineering, Seoul National University

**Position title:** Master Candidate, Department of Industrial Engineering, Seoul National University

**Areas of interest:** Ergonomics

**Woojin Park:** woojinpark@snu.ac.kr

**Highest degree:** PhD, Industrial and Operation Engineering, The University of Michigan

**Position title:** Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Seoul National University

**Areas of interest:** Ergonomics, Human Factors Engineering.