

들기 자세에서 족저의 압력 분포와 압력중심 이동거리의 분석

이명희 · 한진태^{1*} · 배성수²

대구대학교 대학원

¹선린대학 물리치료과

²대구대학교 재활과학대학 물리치료학과

An Analysis of Plantar Foot Pressure Distribution and COP Trajectory Path in Lifting Posture

Myoung-Hee LEE · Jin-Tae HAN^{1*} · Sung-Soo BAE²

Department of Rehabilitation Science, Graduate School, Daegu University

¹Department of Physical Therapy, Sunlin College

²Department of Physical Therapy, Daegu University

The purpose of this study was to investigate the effect of two different lifting posture on the plantar foot pressure, force and COP(center of pressure) trajectory path during object lifting. Fourteen healthy adults who had no musculoskeletal disorders were instructed to lift with two postures(stoop and squat) and two object weights(empty box and 10 kg box). Plantar foot pressures, forces and COP trajectory path were recorded by the F-mat system(Tekscan, Boston, USA) during object lifting with barefoot. Plantar foot surface was defined as seven regions for pressure measurement; two toe regions, three forefoot regions, one midfoot region and one heel region. Paired t-test was used to compare the outcomes of peak pressure and maximum force with different two lifting postures and two object weights. Plantar peak pressure and maximum force under hallux was significantly greater in squat posture than stoop posture during the two different boxes lifting($p < .05$). During the empty box

lifting, maximum force under lesser toes was significantly less and plantar peak pressure under second metatarsal region was significantly greater in squat than stoop($p < .05$). Maximum force under heel was significantly less in squat than stoop posture during 10kg box lifting($p < .05$). Finally, COP trajectory path was significantly greater in squat than stoop($p < .05$). These findings confirm that there are significantly change in the structure and function of the foot during the object lifting with different posture. Future studies should focus on the contribution of both structural and functional change to the development of common foot problems in adults.

Key Words: Lifting posture, Plantar foot pressures, Plantar foot forces, COP trajectory path

I. 서론

현대 사회는 많은 과학의 발전으로 다양한 일들이 자동화 되어 있지만 여전히 일상생활이나 또는 산업현장에서 들기와 관련된 일들을 많이 하고 있다. 이러한 인력운반 작업을 주로 수행하는 작업자들은 잘못된 자세, 작업의 강도, 반복

되는 동작, 오랜 시간 한 가지 정적인 자세로 인해 육체적인 피로가 누적되고, 이는 여러 가지 산업재해로 이어진다(Kilbom, 1994). 또한 동력 기구의 도움 없이 작업자가 자신의 근력을 이용하여 중량물을 대상으로 들어올리기, 내리기, 밀기, 당기기, 운반하기 등의 작업을 수행하는 인력물자취급(Manual Materials Handling, MMH)작업에서 신체적 영향에 계

접수일: 2008년 10월 27일, 채택일: 2009년 3월 5일

* 교신저자: 한진태(대구광역시 남구 대명3동 2288번지 대구대학교 물리치료학과, HP: 017-812-8522, mhlee0317@hanmail.net)

속적으로 노출되어 신체장애를 경험하는 사례가 많은데 이는 작업자의 능력에 비해 과도한 작업부하, 근육의 피로를 수반하는 지속적인 작업시간, 근력을 제대로 발휘할 수 없는 작업자세 등에서 그 원인을 찾을 수 있다(이상도 등, 1999).

최경임 등(1996)은 1992년에서 1994년 까지 포항지역의 재해자 781명을 대상으로 조사를 하였는데 13.4%가 요통재해 환자였고 그 원인 중 들기작업이 26.9%로 가장 큰 비중을 차지하고 있다고 보고하였다.

2004년 산업재해원인조사에 의하면, 전체 업무상 질병자 중 전신성 질환 및 장애를 가진 2,341명 중 2,240 명이 근골격계질환으로 조사되었으며 이러한 근골격계질환의 약 50%인 1,021명이 반복동작에 의한 것으로 나타났다. 또한 부자연스러운 자세와 과도한 힘동작으로 인한 경우가 1,112명으로 역시 많은 부분 차지하였다. 이러한 반복동작이나 과도한 동작을 요구하는 대부분이 들기, 내리기, 밀기 등의 인력물자취급작업이고 그 중 들기 작업이 많은 부분을 차지하고 있다.

들기작업을 수행할 때 수평거리, 대칭, 형태, 성별 모두 근력에 상당한 영향을 미친다(Kumar, 1995). 뿐만 아니라 인력물자취급 작업에 있어서 물건과의 수평거리에 따라 척추기립근의 근전도상 변화를 볼 수 있으며(양성환, 1999) 각관절의 각도에서도 변화를 관찰할 수 있다. 또 이러한 관절각의 변화는 드는 물건의 무게에 따라서도 다르게 나타난다(Burgess - Limerick, 1998). 김상호 등(1996)은 정비작업에서 작업자들이 요통 다음으로 장딴지와 발의 통증을 호소했다고 하였다.

2005년 노동부의 조사에 의하면 근골격계질환, 뇌심혈관계질환 등 작업관련성 질환자는 4,971명으로 2004년에 비해 25.7%(1,720명)가 감소하였고 2006년 작업관련성 질환자는 8,062명으로 전년 대비 3,091명(62.2%) 증가하였으나 이는 근로복지공단에서 금년부터 사고성 요통을 업무상질병으로 분류함으로써 3,612명이 증가한 데 기인하며, 근골격계질환자의 수만 따로 계산하면 2,901명에서 2,621명으로 오히려 줄어들었다. 2004년부터 2006년까지 근골격계 질환자는 2004년 4,112명에서 2005년 2,901명으로 29.5%(1,211명)가 줄었고 2006년 다시 2,621명으로 줄어들었다. 이처럼 산업재해자수가 큰 폭으로 감소한 원인은 2003년부터 중량물을 들어올리는 작업 등 11개 작업에 대해 작업량, 작업자세 등 근골격계질환에 대한 유해요인을 조사하고 근골격계질환 발생 우려가 있는 경우 인간공학적으로 설계된 인력작업 보조설비 및 편의설비 등을 설치하는 등 예방조치를 한 것이 큰 효과를 거둔 것으로 보인다(노동부, 2006).

2003년 Straker는 일반적으로 쪼그려 앉아 들기 자세를 옳은 자세라 여기고 있지만 그 증거가 충분하지 않다고 여기고 허리 굽혀 들기와 쪼그려 앉아 들기에 대한 심리학적, 생리

학적, 역학적인 증거들을 정리하였다.

그의 연구에 따르면 쪼그려 앉아 들기 자세가 허리굽혀 들기 자세와 비교했을 때 에너지소모, 호흡수, 맥박은 비슷하고 요추 전단력 스트레스와 수동적인 조직 스트레스는 적었으며 주로 요통이 있는 사람들이 사용한다고 하였다. 또한 허리 굽혀 들기 자세에서는 최대허용하중(maximum acceptable weight)이 쪼그려 들기 자세보다 크고 운동자각도(RPE), 특히 대퇴사두근의 자각도가 낮으며 요추의 모멘트와 압박력이 적다고 하였다. 이처럼 이제까지 다른 들기 자세가 신체에 미치는 여러 가지 영향, 특히 척추에 미치는 영향에 대한 연구들이 진행되어 왔다. 하지만 균형이나 발에 미치는 영향에 대한 연구는 거의 없다. 다양한 일상생활 동작과 기능적 활동 중 발의 특정 부위에 가해지는 압력을 관찰하기 위해 많은 연구자들이 족저압을 측정하는데 이를 통해 발의 정적, 동적 압력을 정량화 할 수 있다. 2000년 김경 등과 2001년 노정석 등은 족저압 측정기구들의 신뢰도에 대해 연구하였고 그 결과 높은 신뢰도가 있다는 결과를 얻었다. 따라서 본 연구의 목적은 산업재해, 특히 근골격계질환이 감소하고 있는 추세에 발맞춰 가장 흔히 사용하고 있는 두 가지 들기 자세에 따른 발의 영역별 족저압과 압력 중심 이동거리를 분석하여 근골격계질환을 예방하는데 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구 대상

연구대상은 이전에 허리나 발과 관련된 질병이나 그 밖의 근골격계와 관련된 질병이 없고 실험 참가의사를 밝힌 정상 성인 14명을 선정하였다. 모든 피험자들은 실험 전 실험자세 및 절차에 관해 숙지하도록 교육한 후 한 번씩의 연습을 하고 실험을 실시하였다. Table 1은 연구대상자들의 신체적 특성을 보여준다.

2. 측정장비

본 연구에서 족저압과 압력중심 이동거리를 평가하기 위해 matrix 형태의 저항식 압력센서인 F-mat system(Tekscan, Boston, USA)을 사용하였다. 압력센서의 너비는 702,579mm (8,382mm × 8,382mm)이며, 센서는 가로 44개, 세로 52개로 구성되어 있다(Matscan user manual)(Figure 1). 압력분포는 Tekscan의 상용 프로그램을 이용하여 60 frame/sec로 자료를 수집하여 F-scan Research TAM/STAM ver. 5.83 프로그램을 사

용하여 발바닥의 각 영역을 구분하였다(Figure 2).

3. 실험방법 및 절차

본 연구에서는 14명의 피험자가 신발을 신지 않은 상태에서 발 매트 위에 두 발을 편하게 놓고 두 가지의 자세, 즉 허리를 굽혀 드는 자세와 쪼그려 드는 자세에서 바닥에 있는 상자(26.5cm×20.5cm×13cm)를 드는 동작을 실시하였다. 이 때 바로 선 시작자세에서 각 동작을 이용하여 상자를 들어 팔꿈치 관절(elbow joint)을 90°로 굽혀서 들고 있는 자세까지의 최대압력, 최대힘, 압력중심 이동거리를 측정하였다. 상자는 빈 상자과 10kg의 모래를 채운 상자, 두 가지로 설정하여 피험자는 각 자세에서 각 무게 들기 동작을 무작위로 3번씩 수행하였다. 피험자들이 각 동작을 수행할 때 7영역의 발부위에 따른 최대압력(Peak Pressure)과 최대힘(Maximum Force)을 측정하였고, 또한 압력의 중심이 이동한 앞뒤 직선거리의 합인 압력중심 이동거리를 측정하였다.

4. 분석방법



Fig.1. F-mat system

들기 자세에 따른 발의 영역별 최고압력 값과 최대 힘, 그리고 압력 중심 이동거리를 비교하기 위해 대응 t-검정을 실시하였고, 무게에 따른 각 항목을 비교하기 위해 역시 대응 t-검정을 실시하였다. 유의수준은 $\alpha=0.05$ 로 하였으며 자료의 통계처리를 위해 SPSS 12.0 for Windows를 사용하였다.

III. 연구결과

1. 발 영역별 최고 압력값 비교

Table 2는 두 자세에서 두 가지 무게의 물건을 들기 작업 이전 구간을 통해 나타나는 영역별 최고 압력 값의 평균이다. 쪼그린 자세로 빈 상자를 들 때, 엄지발가락(H)과 2-3번째 중족골두(M2-3)의 최고 압력값에서 허리 굽힌 자세보다 유의하게 높은 것을 볼 수 있었다($p<0.05$). 그리고, 쪼그린 자세로 10kg 무게의 상자를 들 때, 역시 엄지발가락(H)의 최고 압력값이 허리 굽힌 자세보다 유의하게 높았다($p<0.05$).

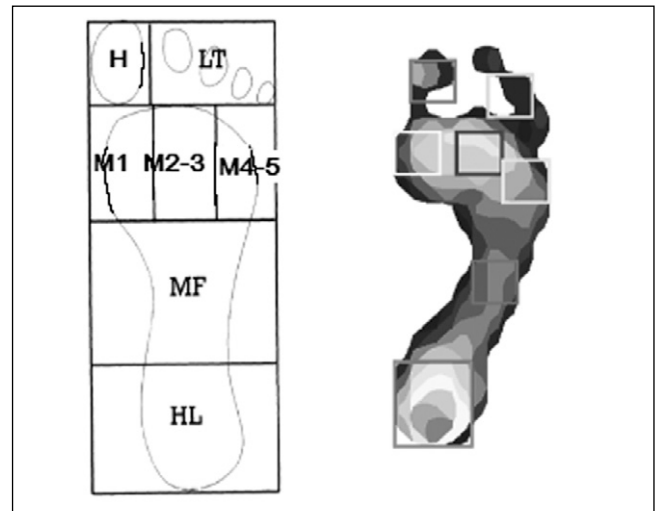


Figure 2. Representation of the seven plantar surface areas identified using the F-scan Research TAM/STAM 5.83

H: Hallux, LT: Lessor Toes, M1: 1st meta-tarsal head, M2-3: 2nd, 3rd metatarsal head, M4-5: 4th, 5th metatarsal head, MF: Mid Foot, HL : Heel

Table 1. Characteristics of subjects

(Mean ± SD)

Subjects (n)	Age(years)	Height(cm)	Weight(kg)	Foot size(mm)
14	24.28 ± 2.92	169.07 ± 6.67	63.21 ± 12.50	256.43 ± 18.55

2. 발 영역별 최대 힘값 비교

Table 3에서는 두 자세에서 두 가지 무게의 물건을 들기 작업 시 전 구간을 통해 나타나는 영역별 최고 힘값의 평균을 보여준다. 최고 압력값과 유사하게 상자의 무게와 상관없이 엄지발가락(H)의 최대 힘값이 허리 굽힌 자세보다 쪼그린 자세에서 유의하게 높게 나타났다($p<.05$). 그리고 빈 상자를 들 때, 허리 숙인 자세에서 쪼그린 자세보다 발가락들(LT)의 힘값이 유의하게 높았으며($p<.05$), 10kg 무게의 상자를 들 때 허리 숙인 자세에서 쪼그린 자세보다 뒤꿈치 영역(HL)에서 유

의한 힘값 증가를 보였다($p<.05$).

3. 압력중심 이동거리의 비교

압력중심은 작용점과 같은 의미이며 수평면의 작용점은 수직력의 힘벡터가 시작되는 압력분포판 위의 한 지점이다. 그러나 발바닥이 지면에 접촉할 때 힘이 발바닥 전체에 작용하므로 작용점이라 할 수 없고 압력중심이라 한다. 압력중심 이동경로는 접지순간마다 압력중심을 구하여 이것을 연결하여 산출한다. 본 연구에서는 두 자세에서 두 가지 무게의

Table 2. Peak pressure of plantar foot (units:Kpa)

Area	0kg(Mean ±SD)			10kg(Mean ±SD)		
	Stoop posture	Squat posture	p-value	Stoop posture	Squat posture	p-value
H	19.03 ± 15.25	228.03 ± 20.1	0.031 *	17.22 ± 16.15	26.69 ± 17.77	0.001 *
LT	2.07 ± 2.71	0.66 ± 1.32	0.106	1.19 ± 2.18	0.64 ± 1.47	0.628
M1	32.25 ± 7.88	33.29 ± 10.84	0.727	32.93 ± 13.36	36.79 ± 14.07	0.322
M2-3	48.76 ± 19.73	59.61 ± 25.77	0.028 *	50.83 ± 22.31	59.76 ± 32.07	0.113
M4-5	30.97 ± 16.42	31.58 ± 14.81	0.903	28.21 ± 11.49	30.99 ± 17.14	0.429
MF	8.36 ± 8.17	8.49 ± 8.35	0.908	11.16 ± 10.08	10.09 ± 10.63	0.388
HL	98.48 ± 41.98	108.52 ± 30.49	0.183	112.05 ± 39.10	98.62 ± 29.44	0.173

* $p<.05$

Table 3. Maximum force of plantar foot (units:Newtons)

Area	0kg(Mean ±SD)			10kg(Mean ±SD)		
	Stoop posture	Squat posture	p-value	Stoop posture	Squat posture	p-value
H	5.23 ± 3.78	9.15 ± 4.300	0.009 *	4.78 ± 4.599	88.37 ± 5.24	0.003 *
LT	0.68 ± 0.70	0.19 ± 0.37	0.106	0.34 ± 0.59	0.18 ± 0.41	0.628
M1	9.08 ± 2.23	9.35 ± 3.04	0.740	9.27 ± 3.77	10.35 ± 3.97	0.323
M2-3	13.90 ± 5.86	16.55 ± 7.23	0.017	14.42 ± 6.23	16.81 ± 9.04	0.142
M4-5	8.72 ± 4.63	8.88 ± 4.16	0.906	7.93 ± 3.23	8.71 ± 4.82	0.429
MF	2.35 ± 2.30	2.39 ± 2.35	0.906	3.14 ± 2.83	2.84 ± 2.99	0.388
HL	71.83 ± 28.31	77.62 ± 22.80	0.236	83.48 ± 25.27	70.04 ± 21.40	0.039 *

* $p<.05$

Table 4. COP trajectory path (units:cm)

Area	0kg(Mean ±SD)			10kg(Mean ±SD)		
	Stoop posture	Squat posture	p-value	Stoop posture	Squat posture	p-value
Path	6.39 ± 0.38	10.31 ± 0.830	0.003 *	8.67 ± 0.569	10.66 ± 0.71	0.018 *

* $p<.05$

상자를 들 때, 이러한 압력중심 이동거리를 비교하였다. 아래에 제시된 Table 4는 이동거리를 나타낸 것이다. 쪼그린 자세에서 들기 작업을 할 때, 두 가지 무게의 상자 모두에서 허리를 굽힌 자세보다 압력중심 이동거리가 유의하게 큰 것을 볼 수 있다($p<.05$). 또한 허리를 굽힌 자세에서 상자를 들 때, 무게가 클수록 이동거리가 유의하게 증가하였다($p<.05$).

IV. 고 찰

본 연구는 산업 현장에서 많은 작업자가 들기 작업을 함에 있어서 주로 사용하는 두 가지 자세 즉, 허리를 굽혀 드는 자세와 쪼그려 드는 자세를 이용하여 물건을 들 때 족부에 미치는 영향과 압력중심 이동거리를 알아보려 실시되었다.

본 연구에서 쪼그린 자세로 빈 상자를 들 때, 허리를 굽힌 경우보다 엄지발가락과 2-3번째 중족골두에서 유의하게 높은 족저압을 볼 수 있었다. 또 10kg의 상자를 들 때, 역시 엄지발가락의 족저압이 유의하게 높게 나타났다. 힘값도 최고압력값과 유사한 양상을 보여 엄지발가락의 힘값이 쪼그려 물건을 들 때가 유의하게 크게 나타났다. 또 10kg 상자를 들 때 뒤꿈치 영역에서 허리를 굽혀 물건을 들 때가 유의하게 높게 나왔다. 여기서 눈여겨 볼 것은 통계적으로 차이를 나타내지는 않았지만 전체적인 압력값과 힘값의 분포이다. 쪼그려 상자를 들 때는 발의 앞쪽과 내측부위의 값들이 높는데 반해 허리를 굽혀 물건을 들 때는 위쪽과 외측의 값들이 높다는 것이다. 또 쪼그려 상자를 들 때, 압력중심 이동거리가 유의하게 크게 나타났는데 이러한 결과들은 쪼그려 물건들기 자세가 허리를 굽혀 물건을 드는 자세에 비해 안정성이 떨어진다는 것으로 보여진다.

여러 연구에서 제시된 것처럼 들기 작업 시에 자세를 포함한 여러 가지 환경적인 요인들은 악력, 척추기립근 활성화도, 요추부의 부하 정도와 하지에 영향을 미친다. 또한 이들은 족부의 압력이나 힘, 압력 중심에도 영향을 미칠 것으로 생각되며 더욱 더 다양한 연구가 계속되어 근골격계 질환의 예방에 기초자료로 활용되어야 할 것이다.

V. 결 론

이상의 결과로 볼 때, 들기 작업 시 자세에 따라 족부에 압력과 힘이 다르게 나타나 영향을 주는 부위가 다를 수 있었다. 또한 압력 중심 이동 거리를 통해 안정성의 차이를 확인할 수 있었다. 앞으로 들기 작업대의 높이와 물건의 무게, 다양한 자세와 관련된 많은 연구결과들이 필요하다고 사

료된다.

REFERENCES

기도형, 정민근. 들기작업 설계와 평가를 위한 요추추의 Compressive Force 예측모형. 대한산업공학회지. 1995: 21(4);581-591

김경, 박영한, 배성수. Intermachine Validity and Reliability of The F-mat and F-scan. 대한물리치료학회지 2000;12(2):29-37

김상호, 정민근, 임종호, 이인석, 민경록. 인간공학(III): 정비 작업에서의 요통 발생 현황 및 근력 평가. 대한산업공학회 춘계공동학술대회집. 1996:647- 650

노동부. 산업재해통계. 2006

노정석, 김택훈. Parotec System 을 이용한 족저압 측정의 신뢰도. 한국전문물리치료학회지 2001;8(3):35-41

양성환, 최정화, 박범. 인력물자취급작업에 있어서의 요추부 하 평가에 관한 연구. 대한설비관리학회지 1999;4(3):83-92

이상도, 우동필. 인력물자취급시 작업자의 근육피로 분석에 관한 생체역학적 연구. 대한설비관리학회지 1999;4(2):61-69

최경임, 정민근, 민경록. 포항지역 사례를 중심으로 한 직업성 요통재해 현황 조사에 대한 고찰. 대한인간공학회춘계학술대회논문집 1996:91-97

한국산업안전공단. 산업재해원인조사 : 질병명별 작업내용별 현황(작업내용별, 질병명별). 2004

Burgess-Limerick R, Abernethy B. Effect of load distance on self-selected manual lifting technique. Int J Ind Ergon. 1998;22:367-372

Kilbom A. Assessment of physical exposure in relation to work-related musculoskeletal disorders-what information can be obtained from systematic observations? Scand J Work Environ Health 1994;20:30-45

Kumar S. Development of predictive equations for lifting strengths. Applied Ergonomics 1995;26(5): 327-341

Kumar S, Garand D. Static and dynamic lifting strength at different reach distances in symmetrical and asymmetrical planes. Ergonomics 1992 ;35(7-8):861-880

Straker L. Evidence to support using squat, semi-squat and stoop techniques to lift low-lying objects . Int J Ind Ergon 2003;31(3):149-160