Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 30, No. 5 pp.605-611, October 2011 http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2011.30.5.605

Movement Analysis of Elderly People during Ingress/Egress from Different Seat Heights

Yongchul Kim

Department of Rehabilitation Science and Technology, Daegu University, Kyungsan, 136-792

ABSTRACT

Objective: The aim of this study was to investigate the influence of seat heights for optimizing the ingress/egress performance in the elderly people. **Background:** Recently elderly users have been increasing in number and the ease of ingress/egress of the vehicle becomes an important issue. **Method:** Seven elderly subjects participated in this study(age: 71.7±3.6yr, height: 167.7±5.4cm, weight: 68.1±11.5kg). Each subject performed the sitting and rising task from comfortable seated position on the chair under the following conditions: (1) with a lumbar support and (2) without a lumbar support. We measured EMG activities of seven muscles(tibialis anterior, soleus, gastrocnemius, vastus lateralis, rectus femoris, biceps femoris and erector supinae) and ranges of motion in lower limb during sitting and standing from three different heights (400mm, 500mm and 600mm from ground) of slide-up seat. **Results:** Muscle activities and angular movements of hip and knee joints during standing-up and sitting-down with a high seat height(600mm) were reduced mean 30.4% in extensor muscles, 57.11% in flexor muscle, 18.74% in erector muscle and 31.0% in joints compared with a low seat height(400mm). **Conclusion:** Muscle activities and joint movements in hip and knee were reduced when rising/sitting from a high seat height(600mm) compared with a low seat height(400mm). **Application:** This study can be used to design vehicle that are easy to get in and out of by older peoples with or without impairments.

Keywords: Seat height, Sitting, Standing, Ingress/egress

1. Introduction

최근 우리나라는 2000년 65세 이상 인구가 전체 인구의 7.2%로 고령화 사회로 진입하였고, 2018년과 2026년에는 각각 고령사회와 초고령 사회로 진입할 것으로 예상되고 있다. 특히, 고령화 사회에서 고령사회로 진입하는 시기가 18년 밖에 걸리지 않을 것으로 예상되며 주요 선진국과 비교하여 고령화가 훨씬 빠르게 진행되고 있다. 또한, 고령 인구의 급격한 증가와 더불어 고령 운전자도 지속적으로 증가하고 있으며, 60세 이상 운전면허 소지자는 전체 취득자의 8.7%로 약226만 명에 달한다(Road Traffic Authority, 2009). 따라서, 고령자의 안전을 고려한 차량 개발과 더불어 고령자를 위한 차량 이용 시의 편의성에 대한 관심이 점점 증가하고 있다. 하지만, 고령자나 교통약자를 위한 자동차 개발에 대한 국내의 연구가 다른 나라와 비교해서 매우 부족한 실정이다.

고령 운전자의 경우 차량 이용 시 운전 성능에 영향을 줄 수 있는 생리학적, 감각, 지각, 운동, 인지 능력에 있어서 많은 변화를 수반하게 된다. 이러한 변화는 이동 능력의 저하, 근력의 감소, 쉽게 피로해짐, 정보 처리 능력의 감소, 느려진 반응시간 등이 나타나게 된다. 특히 이동 능력의 저하나 근력의 감소로 인하여 고령자를 위한 차량의 설계를 위해서는 무엇보다 접근성 향상을 위한 차량의 승/하차 시 편의성 문제가 매우 중요하게 대두된다(Petzall, 1995; Shaheen & Niemeier, 2001; Herriotts, 2005; Park et al., 2010).

Corresponding Author: Yongchul Kim. Department of Rehabilitation Science and Technology, Daegu University, Kyungsan, 136-792.
E-mail: nakim@daegu.ac.kr
Copyright@2011 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.

고령자의 차량 승/하차에 대한 연구를 살펴보면 승/하차 시의 행동 특성을 관찰하기 위한 동작 분석(Petzall, 1995; Ait El Menceur et al., 2008; Choi et al., 2009)과 승/하차 시 편의성을 향상 시키기 위한 차량 문의 설계(Petzall, 1995; Chateauroux et al., 2007), 좌석 공간의 설계(Park et al., 2010), 발 받침대 및 보조 손잡이와 같은 보조장치에 관한 연구들이 주로 이루어졌다(Park et al., 2006; Cho et al., 2008; Rhee et al., 2008). 하지만 이러한 연구의 대부분은 기존 차량의 형태를 유지하거나 부분적인 설계 변경만을 포함하지만 고령자의 승/하차 성능을 획기적으로 개선하기 위해서는 리프트업 시트와 같은 새로운 승/하차 시스템의 도입이 필요하다.

리프트업 시트의 경우 시트가 차량 밖으로 나오기 때문에 이동 능력의 저하나 근력이 감소한 고령자도 승/하차를 쉽게 할 수 있는 잇점이 있다. 하지만 이때 차량 밖으로 나오게 되는 시트 높이에 따라서 고령자의 운동학적인 특성이 달라지기 때문에(Weiner et al., 1993; Hughes et al., 1994) 본 연구에서는 승/하차 시 시트 높이에 따른 고령자의 근육학적인 특성과 운동학적인 특성을 분석하고자 하였다.

2. Method

2.1 Subjects

고령자의 차량 승/하차 시 시트 높이에 따른 동작 특성을 분석하기 위하여 65세 이상의 남성 고령자 7명을 대상으로 실험을 수행하였다(Table 1).

Table 1. Characteristics of subjects

	Sex	Age (years)	Height (cm)	Mass (kg)	Knee height (cm)
A	Male	72	172	82	47.0
B	Male	78	168	65	46.5
C	Male	75	165	75	43.0
D	Male	69	169	69	45.0
E	Male	69	167	71	45.5
F	Male	70	175	70	47.0
G	Male	69	158	45	46.0
Mean	-	71.7	167.7	68.1	45.7
S.D.	-	3.55	5.41	11.51	1.41

2.2 Experimental setup

2.2.1 Measurement of electromyogram(EMG)

고령자가 차량 시트에 앉거나 일어서는 동작을 수행할 때 차량 시트 높이에 따른 근육 활성화 정도를 분석하기 위하여 MP150 System(Biopac Systems, Inc.) 장비를 사용하였다. 오른쪽 다리 및 허리에 총 6개의 표면 전극(TSD150B, Biopac Systems, Inc.)을 부착하였으며, 전극 부착 위치는 앞정강근(Tibialis anterior), 가자미근(Soleus), 장딴지근(Gastrocnemius), 가쪽 넓은근(Vastus lateralis), 넙다리곧은근(Rectus femoris) 그리고 우측 척추 세움근(Erector supinae)이다. 근전도 측정 시 게인값은 1000, 동상성분 제거비(CMRR)는 110dB로 설정하였다. 샘플링 주파수는 1,000Hz로 하였으며, 근전도 신호의 분석을 위하여 60Hz의 전기 노이즈를 제거하였고, 동작 신호로 인한 노이즈를 제거하기 위하여 20Hz high pass filter를 사용하였다. 또한, 각 근육의 활성화 정도를 비교하기 위하여 근육이 작용한 면적(Integrated EMG)을 계산하였다.

2.2.2 Measurement of joint angle

좌석으로 앉거나 일어서기 동작을 수행할 때의 관절 각도의 변화를 측정하기 위해 고관절과 슬관절에 고니오미터(SG110-150, Biometrics Ltd)를 부착하였다. 고니오미터의 샘플링 주파수는 1,000Hz로 하였다.

2.2.3 Definition of seat height

기아자동차의 카니발 차량에 사용하는 리프트업 시트((주)모토웰)를 별도로 제작된 Base frame에 고정하여 시트의 높이를 지면으로부터 400mm, 500mm 그리고 600mm로 3수준으로 변경하여 각각의 시트 높이에 대하여 실험을 수행하였다(Figure 1).

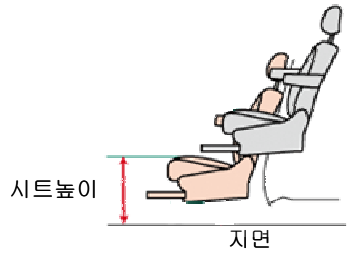
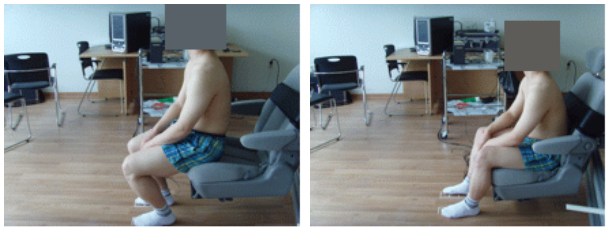


Figure 1. Seat height from ground

2.3 Experimental procedures

고령자가 차량 시트에 앉거나 일어서기 동작 수행 시 시트의 끝에 앉는 동작과 엉덩이를 등받이에 밀착시켜서 앉는

2가지 다른 앉기 동작 형태에 대하여 동작 분석 실험을 수행하였다(Figure 2). 실험한 순서에 따른 영향을 최소화하기 위하여 의자의 높이는 각 실험마다 랜덤하게 변화시켰으며, 각각의 높이에 대해 3회 반복 실험을 수행하였다.



(a) Sitting with a lumbar unsupported (b) Sitting with a lumbar supported

Figure 2. Two types of sitting posture

2.4 Data analysis

통계처리는 윈도우용 Minitab 15 통계 프로그램을 이용하여 분석하였다. 차량 승하차 시 고령자의 앉기 및 일어서기 동작 시 시트 높이에 따른 하지 근육(앞정강근, 가자미근, 장딴지근, 가쪽 넓은근, 넙다리 곧은근 및 우축 척추세움근)과 관절 각도(고관절 및 슬관절)에 관한 영향을 비교하기 위하여 One-way ANOVA 방법을 사용하였다. 독립 변수인 시트의 높이는 바닥면으로부터 400mm, 500mm, 600 mm로 설정하였으며, 이때 앉기 및 일어서기 동작 유형은 좌석의 끝에 앉는 경우와 등받이 쪽에 앉는 2가지 경우에 대하여 실험을 수행하였다. p 값이 0.05 미만인 경우에 통계학적인 유의성이 있는 것으로 정의하였다.

3. Results

3.1 Muscle response

3.1.1 During standing and unsupported sitting

시트 높이에 따른 EMG 특성을 분석하기 위하여 근전도 신호의 작용시간에 대한 면적을 계산하였다. 일어서기 동작 시 주로 펴기 근육이 작용하며, 발목 펴기 근육인 가자미 근육과 무릎 펴기 근육인 가쪽 넓은 근에서는 400mm 시트 높이와 비교해서 600mm 시트 높이에서 EMG 값이 각각 평균 23.78%, 37.19% 감소하였다(그림 3(b), (d)). 가쪽 넓은근의 경우는 앉기(p<0.05) 및 일어서기(p<0.01) 동작 모두에서 시트의 높이가 증가할수록 통계학적으로 유의하게 EMG 크기가 감소하는 것으로 나타났다. 앉기 동작에서는 주로 굽힘 근육이 작용하며, 발목 굽힘 근육인 앞정강근은 400mm 시트 높이와 비교해서 600mm 시트에서 EMG 값이 평균 57.11% 감소하였다(그림 3(a)). 특히, 앞정강근은 앉기(p<0.05) 및 일어서기(p<0.05) 동작 모두에서 통계학적으로 유의하게 시트의 높이가 높아질수록 EMG 크기가 감소하는 것으로 확인됐다. 2개의 관절에 동시에 작용하는 근육인 장딴지근은 앉기 동작 시 500mm 시트 높이에서 가장 감소하였으며, 넙다리 곧은근은 600mm 시트 높이에서 가장 작게 나타났다(그림 3(c), (e)). 몸통을 움직이는 척추세움근에서는 400mm 시트 높이보다 600mm 시트 높이에서 앉기 동작 시 12.80%, 일어서기 동작 시 24.67% 감소하였다(그림 3(f)).

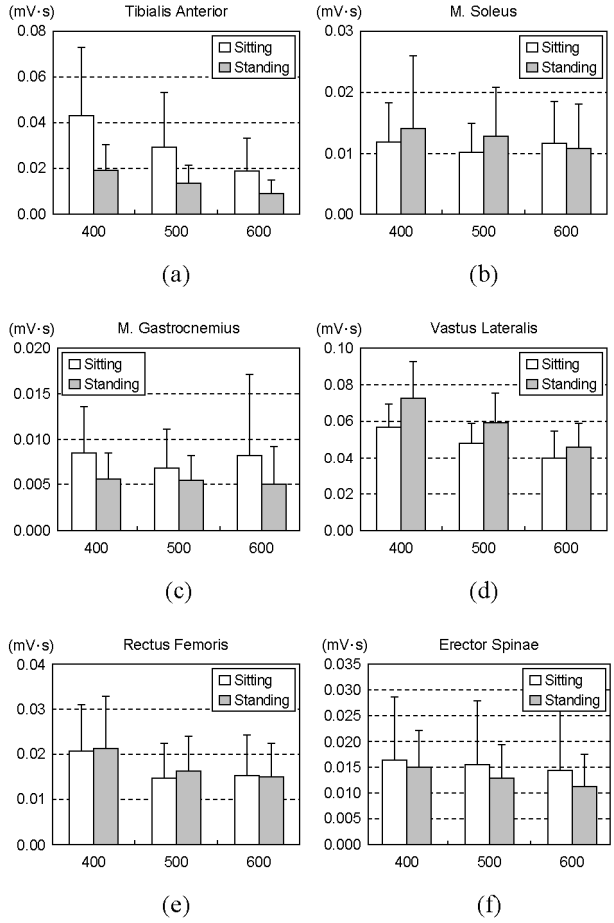


Figure 3. Means and standard deviations of EMG response for six muscles when sitting and standing from three different seat heights(lumbar unsupported)

3.1.2 During standing and sitting with lumbar support

일어서기 동작 시 주로 펴기 근육이 작용하며, 발목 펴기

근육인 가자미 근육에서는 600mm 시트 높이와 비교해서 400mm 시트 높이에서 EMG 값이 평균 38.22% 감소하였다(그림 4(b)). 특히, 가자미 근육은 앉기 동작 시 시트의 높이가 높을 수록 통계학적으로 유의하게(p<0.01) EMG 크기가 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 무릎 펴기 근육인 가쪽 넓은근에서는 살짝 앉는 동작과 마찬가지로 400mm 시트 높이와 비교해서 600mm 시트 높이에서 EMG 값이 평균 45.77% 감소하였으며(그림 4(d)), 일어서기 동작 시 가쪽 넓은근은 통계학적으로 유의하게(p<0.01) EMG 크기가 시트 높이에 따라서 감소하였다. 앉기 동작에서는 주로 굽힘 근육이 작용하며, 발목 굽힘 근육인 앞정강근은 400mm 시트 높이와 비교해서 500mm 시트에서 EMG 값이 평균 31.76% 감소하였다(그림 4(a)). 2개의 관절에 동시에 작용하는 근육인 장딴지근은 일어서기 동작보다 앉기 동작에서 더 크게 작용하였으며, 600mm 시트 보다 400mm 시트에서 평균 70.08% 감소하였으며, 특히 장딴지 근육은 앉기 동작(p<0.01) 및 일어서기 동작(p<0.05)에서 모두 통계학적으로 유의하게 시트의 높이가 증가할수록 EMG 크기가 증가하는 것으로 나타났다. 넙다리 곧은근은 400mm 시트와 비교해서 500mm 시트 높이에서 평균 24.31% 감소하였다(그림 4(e)). 몸통을 움직이는 척추 세움근에서는 600mm 시트 높이보다 400mm 시트 높이에서 앉기 동작 시 14.17%, 일어서기 동작 시 14.29% 감소하였다(그림 4(f)).

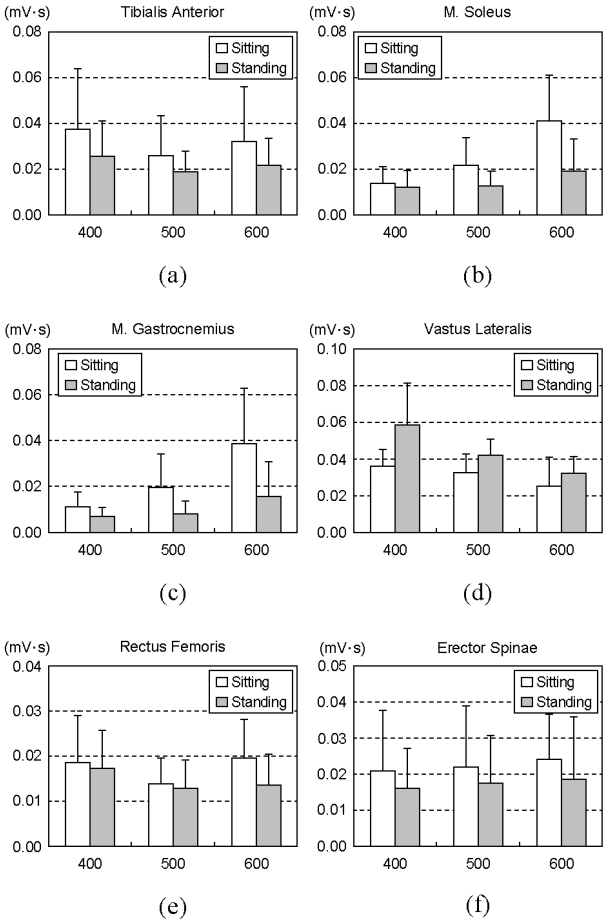


Figure 4. Means and standard deviations of EMG response for six muscles when sitting and standing from three different seat heights(lumbar supported)

3.2 Joint angle response

시트 높이에 의한 고령자의 고관절과 슬관절의 운동학적인 특성을 분석하기 위해서 그림 5와 같이 앉는 동작과 일어서는 동작을 5구간으로 나누어 분석을 수행하였다.

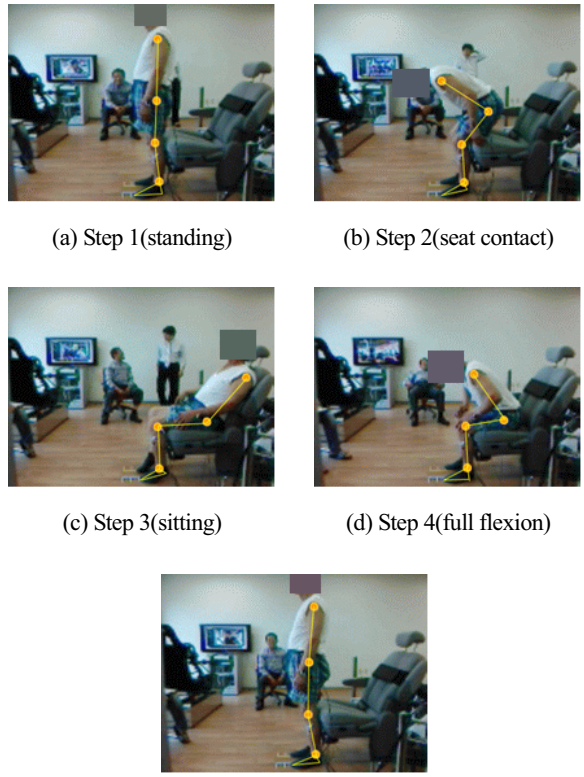


Figure 5. Movement step cycle of sitting and standing

3.2.1 During standing and unsupported sitting

허리 관절의 기울어진 각도의 경우 처음 시작과 끝 동작인 1과 5구간에서는 거의 일정한 것으로 나타났으며, 동작 2, 3 그리고 4구간에서는 600mm 시트를 기준으로 400mm 시트에서 관절 각도가 각각 33.0%(p<0.01), 21.29%(p<

0.01), 38.78%(p<0.01) 더 앞쪽으로 굽혀진다(그림 6(a)). 허리 관절의 각도가 앞쪽으로 더 기울어지는 경우 허리 관절에 작용하는 모멘트가 증가하기 때문에 동작 2, 3과 4구간에서는 600mm 시트가 허리에 더 적은 관절 모멘트가 작용할 것으로 생각된다. 무릎 관절의 경우도 허리 관절과 동일하게 동작 2, 3 과 4구간에서 600mm 시트를 기준으로 400mm 시트에서 관절 각도가 각각 22.86%(p<0.01), 12.92%(p<0.01), 23.30%(p<0.01)더 굽혀진다(그림 6(b)).

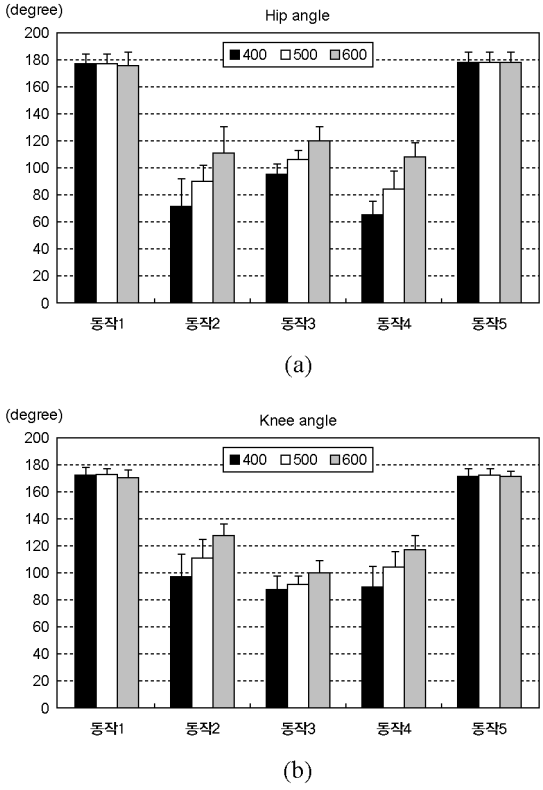


Figure 6. Means and standard deviations of joint angles at each step when sitting and standing from three different seat heights(lumbar unsupported)

3.2.2 During standing and sitting with lumbar support

허리 관절의 기울어진 각도의 경우 동작 1, 3 그리고 5동작 구간에서는 거의 일정한 것으로 나타났으며, 특히 동작 2와 4구간에서는 600mm 시트를 기준으로 400mm 시트에서 관절 각도가 각각 25.94%(p<0.01), 26.49%(p<0.01) 더 앞쪽으로 굽혀진다(그림 7(a)). 무릎 관절의 경우 모든 동작 구간에서 시트 높이에 따라서 거의 비슷한 각도를 갖는 것을 알 수 있다(그림 7(b)).

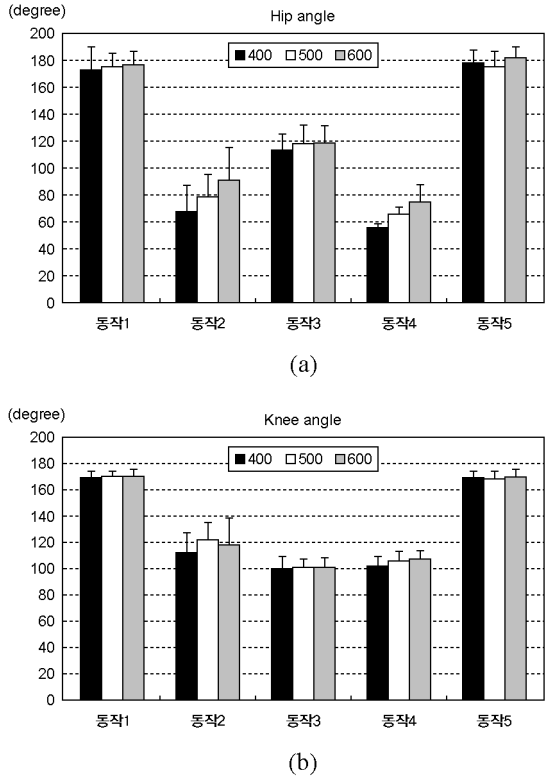


Figure 7. Means and standard deviations of joint angles at each step when sitting and standing from three different seat heights(lumbar unsupported)

4. Discussion

1) 고령자가 좌석 끝에서 앉기 및 일어서기 동작을 수행하는 경우 근육의 반응과 관절 각도 측정 모두에서 400mm 시트 높이 보다 600mm 시트가 가장 좋은 조건으로 나타났다. 일어서기 동작 시 주로 사용하는 펴기 근육인 가쪽 넓은 근의 경우 앉기(p<0.05) 및 일어서기(p<0.01) 동작 모두에서 시트의 높이가 증가할수록 통계학적으로 유의하게 크기가 감소하는 것으로 나타났다. 앉기 동작 시 주로 사용하는 굽힘 근육인 앞정강근 역시 앉기(p<0.05) 및 일어서기(p<0.05) 동작 모두에서 통계학적으로 유의하게 시트의 높이가 높아질수록 크기가 감소하는 것으로 확인됐다. 관절 각도의 경우 시트에 앉기 시작하는 구간(동작 2)과 일어서기 시작하는 구간(동작 4)에서는 600mm 시트를 기준으로 400mm 시트에서 허리 관절에서는 평균 38.89%(p<0.01) 더 앞쪽으로 굽혀지며, 무릎 관절에서는 평균 23.08%(p<0.01) 더 앞쪽으로 굽혀진다.

건강한 남성과 하지 장애인(고령자 포함)을 대상으로 한

Burdett et al.(1985)의 연구결과나 젊은 사람(20~35세)을 대상으로 의자의 높이에 따른 관절 각도 및 관절 모멘트의 영향을 분석한 Rodosky et al.(1989)의 결과에서도 의자의 높이가 높아질수록 최대 굽힘 각도가 감소하여, 일어서기 동작에서 필요로 하는 관절의 동작 범위가 줄어드는 것으로 나타났다. 또한 22명의 고령자를 대상으로 의자 높이에 따른 일어서기 성공률을 분석한 논문의 경우 43.18cm의 의자 높이에서의 성공률이 41%인 반면 55.88cm의 경우 성공률이 91%로 나타났다(Weiner et al., 1993).

2) 고령자가 좌석 등받이에 허리를 기대는 동작 유형에서는 근육의 반응에서는 대부분 등받이 쪽으로 허리를 밀기 위한 발목의 움직임이 많이 나타났다. 발목 펴기 근육인 가자미근은 앉기 동작 시 시트의 높이가 높을 수록 통계학적으로 유의하게(p<0.01) EMG 크기가 증가하는 것으로 나타났다. 특히 2개의 관절에 동시에 작용하는 장딴지 근육은 앉기 동작(p<0.01) 및 일어서기 동작(p<0.05)에서 모두 통계학적으로 유의하게 시트의 높이가 증가할수록 EMG 크기가 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 무릎 펴기 근육인 가쪽 넓은근에서는 살짝 앉는 동작과 마찬가지로 일어서기 동작 시 통계학적으로 유의하게(p<0.01) EMG 크기가 시트 높이에 따라서 감소하였다. 관절 각도의 경우 시트에 앉기 시작하는 구간(동작 2)과 일어서기 시작하는 구간(동작 4)에서는 600mm 시트를 기준으로 400mm 시트에서 허리 관절에서는 평균 26.22%(p<0.01) 더 앞쪽으로 굽혀진다.

의자 높이에 따른 영향을 분석하고자 하는 경우 대부분 좌석의 앞쪽 모서리에서 실험하는 경우가 많으며(Rodosky et al., 1989; Alexander et al., 1991; Ikeda et al., 1991), 의자의 등받이 쪽에 허리를 기대는 경우에는 본 연구의 결과에서처럼 몸을 좌석의 등받이 쪽으로 움직이기 위하여 좌석의 높이가 상대적으로 높아지는 경우에는 몸을 뒤로 밀기 위해서 발목 펴기 근육인 가자미근과 장딴지 근육의 작용이 점점 증가하게 된다.

따라서, 고령자의 차량 승하차를 위한 슬라이드 업 시트의 높이와 관련해서는 모서리에 앉는 동작에서는 좌석의 높이를 높게 하여 상대적인 관절의 움직임을 적게 유지하고, 차량의 좌석 등받이 쪽으로 몸을 이동할 때는 좌석의 높이를 낮추어 발목 펴기 근육의 작용을 줄이는 것이 가장 효과적인 방법으로 나타났다.

Acknowledgements

This work was supported in part by the Daegu University Research Grant, 2007.

References

Ait El Menceur, M., Pudlo, P., Gorce, P., Thevenon, A. and Lepoutre, F., Alternative movement identification in the automobile ingress and egress for young and elderly population with or without protheses, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38(11-12), 1078-1087, 2008.

Alexander, N. B., Schultz, A. B. and Warwick, D. N., Rising from a chair: effects of age and functional ability on performance biomechanics, *Journal of Gerontology*, 46(3), M91-98, 1991.

Burdett, R. G., Habasevich, R., Pisciotta, J. and Simon, S. R., Biomechanical comparison of rising from two types of chairs, *Physical Therapy*, 65(8), 1177-1183, 1985.

Chateauroux, E., Wang, X., Pudlo, P. and Ait El Menceur, M., Difficulties of elderly and motor impaired people when getting in and out of a car, *11th International Conference on Mobility and Transport for Elderly and Disabled Person*, 2007.

Cho, S. I., Park, S., Hong, S. W., Choe, J. H. and Jung E. S., Analysis of tendency and the method improving ingress and egress for wheelchair users, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 27(3), 23-32, 2008.

Choi, W. J., Sha, S. J. and Choi, H. Y., Ingress/egress of older drivers Part 1: analysis of motion characteristics, *Journal of Biomedical Engineering Research*, 30(5), 381-392, 2009.

Herriotts, P., Identification of vehicle design requirements for older drivers, *Applied Ergonomics*, 36(3), 255-262, 2005.

Hughes, M., Weiner, D., Schenkman, M., Long, R. and Studenski, S., Chair rise strategies in the elderly, *Clinical Biomechanics*, 9(3), 187-192, 1994.

Ikeda, E. R., Schenkman, M. L., Riley, P. O. and Hodge, W. A., Influence of age on dynamics of rising from a chair, *Physical Therapy*, 71(6), 473-481, 1991.

Park, S. J., Yim, Y. K., Lee, H. J. and Kim, C. J., The study on the satisfaction and a motion analysis when entering a car through change of vehicle conditions, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 25(3), 25-32, 2006.

Park, W. C., Yang, Y. S., Jang, C. H., An, D. J. and Lim, S. H., Ergonomic evaluation of convenient appliances for elderly driver's ingress/egress, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(1), 61-66, 2010.

Petzall, J., The design of entrances of taxis for elderly and disabled passengers, *Applied Ergonomics*, 26(5), 343-352, 1995.

Rhee, G. H., Han, I. S., Choi, W. J., Yoon, K. H. and Park, Y. H., The study on systems to aid the ingress/egress for elderly passenger, *Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference*, 879-880, 2008.

Road Traffic Authority, Driver's License Examination Office, www.dla.go.kr

Rodosky, M. W., Andriacchi, T. P. and Anderson, G. B. J., The influence of chair height on lower limb mechanics during rising, *Journal of Orthopaedic Research*, 7(2), 266-271,1989.

Shaheen, S. and Niemeier, D., Integrating vehicle design and human factors: minimizing elderly driving constraints, Transportation Research Part C, 9(3), 155-174, 2001.

Weiner D. K., Long, R., Hughes, M. A., Chandler, J. and Studenski, S., When older adults face the chair-rise challenge. a study of chair height availability and height-modified chair-rise performance in the elderly. *Journal of American Geriatrics Society*, 41(1), 6-10, 1993.

Weiner, S. and Niemeier, D., Integrating vehicle design and human factors: minimizing elderly driving constraints, Transportation Research Part C, 9(3), 155-174, 2001.

Date Received : 2011-01-11

Date Revised : 2011-07-28

Date Accepted : 2011-08-03

Author listings

Yongchul Kim: nakim@daegu.ac.kr

Highest degree: PhD, Department of Mechanical Engineering, POSTECH

Position title: Assistant Professor, Department of Rehabilitation Science & Technology, Daegu University

Areas of interest: Biomechanics, Rehabilitation Engineering