The influence of age and gender on full range of motion of the whole body

Jaejin Hwang, Doo-Hwan Kwak, Jae-Min Woo, M.-C. Jung *

Department of Industrial and Information Systems Engineering, Ajou University, Suwon, 443-749

ABSTRACT

Objective: The purpose of this study was to evaluate the effect of age and gender on full Range of Motion (ROM) of the whole body. **Background:** Age and gender was known important factors affecting ROM. Previous studies mainly focused on evaluating ROM for Western subjects using a one-dimensional measuring technique. Thus, it would be interesting to study the age and gender effect on ROM for Asian population using a three-dimensional measuring technique. **Method:** Twenty male and 20 female aged 20 to 63 participated in this study. Subjects performed a total of 8 voluntary motions in sagittal plane for 8 segments and it was measured by three-dimensional motion capture system (VICON, UK) with 9 cameras. **Results:** The result showed that age was significant for 5 motions whereas gender was significant for 2 motions. Young and female group generally displayed larger ROM than old and male groups. The age effect on ROM was high in flexion/extension of the hand, trunk, and head while the gender effect on ROM was high in flexion of lower arm and flexion/extension of upper leg. **Conclusion:** The age effect on ROM was higher than the gender effect on ROM and the magnitude of ROM difference was depending upon segments and motions. **Application:** The result of this study would be useful information for designing workplace for Asian worker population that is associated with age and gender.

Keywords: Range of motion, Age, Gender, Sagittal plane, Whole body

1. Introduction

동작 범위는 지방조직, 관절낭 근육, 건, 인대와 같은 다양한 조직으로 둘러싸인 관절이 행할 수 있는 가동 범위를 의미한다(Stubbs et al., 1993). 임상적 측면에서 살펴보면, 동작 범위는 관절의 퇴행적 변화 및 환자들의 치료 효과 여부를 정량화하여 분석하는 데 널리 사용되고 있다(Chung and Wang, 2009). 한편 산업적 측면에서는, 작업자들의 안전한 작업영역을 파악하여 작업 시 발생하는 부상 및 근골격계질환 위험을 줄이기 위한 평가방법으로 사용되고 있다(Stubbs et al., 1993).

동작 범위에 영향을 미치는 많은 요소들 중에서, 연령과 성별은 특히 중요한 부분을 차지하는 것으로 알려져 있다. Stubbs et al.(1993)는 25세부터 54세까지의 피실험자들을 대상으로 연령과 동작 범위의 관련성을 조사하였으며, 그 결과 연령이 증가할수록 동작 범위는 4%에서 30%까지 감소하는 것으로 나타났다. Doriot and Wang(2006)은 22명의 청년층 남녀와 19명의 중년층 남녀를 대상으로 실험하였으며, 연령은 성별보다 동작 범위에 더 높은 영향을 미쳤고, 특히 목과 허리 부위에서 높은 동작 범위 감소가 일어남을 밝혔다. Chung and Wang(2009)은 16세부터 64세까지의 1134명의 대만 작업자들에 대하여, 연령이 증가할수록 목과 손목 부위에서 26%의 동작 범위 감소가 발생하고, 여성은 대체적으로 남성보다 높은 동작 범위를 나타냄을 보고하였다.

기존 연구들은 동작 범위 측정에 있어서 고니오미터(Goniometer)나 경사계(Inclinometer) 등을 사용해 피실험자들에게 정적인 자세를 취하게 한 후 각 관절에 대해 1차원 상의 각도를 측정한 경우가 대부분이다. 하지만 실제 인간의 동적인 자세와 주 동작에 수반되는 부수동작들을 동시에 측정하기 위해서는 3차원 상의 각도 측정이 요구된다(Doriot and Wang, 2006). 또한 아직까지 서양에 비해 동양에서 연령과 성별을 고려한 전신에 대한 동작 범위 연구는 부족한 실정이다. 인종의 차이는 동작 범위에 영향을 줄 수 있는 요소 중 하나로 알려져 있으므로 이에

대한 고려가 필요하다.

따라서 본 연구의 목적은 동양인들을 대상으로 3차원 동작 분석기를 기반으로 연령과 성별에 따른 전신의 동작 범위 차이를 파악하는 것이다. 이는 성별과 연령을 고려한 국내의 작업장을 설계 시 중요한 참고자료가 될 수 있다.

2. Method

2.1 Subjects

본 실험에서는 지난 6개월 동안 전신에 부상, 질환이 없는 20명의 남성(청년층: 10, 중장년층: 10)과 20명의 여성(청년층: 10, 중장년층: 10)이 실험에 참가하였다. 피실험자들의 신체특성은 표1과 같다.

Table 1. Means (standard deviations) of anthropometric dimensions for the subjects

	Young		Old	
	Male	Female	Male	Female
Age (years)	27.2 (1.2)	23.4 (1.6)	56.4 (3.2)	56.9 (3.3)
Height (cm)	175.1 (4.3)	160.5 (4.5)	168.6 (3.9)	155.9 (4.7)
Body mass (kg)	73.3 (10.7)	54.5 (7.3)	72.3 (9.2)	58.1 (5.2)

2.2 Apparatus

동작을 측정하기 위한 장비로 3차원 동작분석기(VICON, UK) MX-3+ 카메라 5대와 MX-F40 카메라 4대를 사용하였고 sampling rate은 60Hz로 지정하였다. 측정된 데이터의 전송을 위해 MX Control, MX Link, MX Net을 사용하였고, 데이터의 편집 및 분석을 위해 NEXUS와 Polygon Software를 이용하였다. 전신의 각도를 측정하기 위하여 14mm 반구형 marker 22개를 우측 전신에 부착하였다.

2.3 Procedures

실험에 앞서 피실험자들에게 참가에 대한 동의를 얻고 실험의 목적과 절차에 대해 교육하였다. 캘리퍼(Caliper)와 줄자를 사용하여 피실험자들의 인체치수를 측정한 뒤 22개의 marker를 Plugin Gait Model (VICON, UK) 절차에 맞춰 피실험자의 머리, 허리와 우측의 위팔, 아래팔, 손, 위다리, 아래다리, 발 부위에 부착하였다.

기본자세로 피실험자는 어깨 너비로 서서 팔을 양쪽 옆으로 편하게 늘어트린 다음 손바닥은 허벅지를 향하였다. 피실험자는 8개의 동작(머리의 굴곡/신전; 위팔의 굴곡/신전; 아래팔의 굴곡; 손의 굴곡/신전; 허리의 굴곡/신전; 위다리 굴곡/신전; 아래다리의 굴곡; 발의 저측/배측 굴곡)을 랜덤하게 수행하였다. 피실험자들은 각 동작에 대하여 자율 속도로 최대 범위까지 수행하였다. 하지의 동작 범위의 경우 피실험자들은 발판 위에 올라서서 지지대를 양손으로 잡고 균형을 유지한 뒤 동작을 행하였다(Figure 1). 각 동작은 휴식 없이 총 3회를 왕복으로 수행하였다.

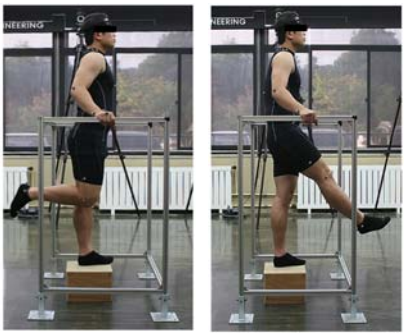

Figure 1. The example of lower extremity motions

2.4 Data analysis

실험을 통해 측정한 marker 궤적에 대하여 Woltring filter (MSE = 20)를 사용하였으며 동작 주기간 비교 및 계산을 위해 Polygon Software를 사용해 정규화를 수행하였다. 동작 범위에 대하여 평균 ± (2.58 × 표준편차)인 경우 이상치로 파악하고 제거하였다.

본 실험의 독립변수로 연령(청년층, 중장년층), 성별(남성, 여성)을 고려하였고, 종속변수는 8개 체절에서 발생하는 시상면 상의 8개 동작의 동작 범위로 지정하였다.

본 연구에서는 40명의 모든 피실험자들에 대해 2 × 2 Between-Subject Design을 사용해 실험을 실시하였다. 연령과 성별이 동작 범위에 미치는 영향을 통계적으로 검증하기 위해 유의수준 0.05인 분산분석(2-way ANOVA)을 실시하였다. 동작 별로 연령과 성별에 따른 동작 범위의 상대적 차이를 비교하기 위해 연령의 경우 중장년층을 기준으로 청년층의 차이를, 성별의 경우 여성을 기준으로 남성의 차이를 비율로 계산하였다. 모든 통계분석은 SAS 9.1 프로그램을 사용하였다.

3. Results

분산분석을 통하여 연령, 성별, 연령과 성별의 교호작용이 동작 범위에 미치는 영향을 분석하였으며 결과는 table

2와 3과 같이 나타낼 수 있다. 연령의 차이는 5개의 동작인 머리의 굴곡/신전, 위팔의 굴곡/신전, 아래팔의 굴곡, 손의 굴곡/신전, 허리의 굴곡/신전, 위다리의 굴곡/신전에서 유의하게 나타났다. 성별의 차이는 2개의 동작인 아래팔의 굴곡, 위다리의 굴곡/신전에서 유의하게 나타났다. 연령과 성별의 교호작용은 2개의 동작인 손의 굴곡/신전(p=0.013)과 허리의 굴곡/신전(p=0.014)에서 유의한 결과를 보였다.

Table 2. ANOVA results for the range of motion of the whole body

Segment	Motion	Age		Gender		Age×Gender	
		F(1, 39)	p	F(1, 39)	p	F(1, 39)	p
Head	Flexion/Extension	17.21	0.000	3.24	0.080	0.26	0.616
Upper arm	Flexion/Extension	1.50	0.229	0.28	0.602	0.57	0.454
Lower arm	Flexion	15.41	0.000	38.24	0.000	0.16	0.687
Hand	Flexion/Extension	48.06	0.000	4.14	0.050	6.95	0.013
Trunk	Flexion/Extension	5.08	0.030	3.12	0.086	6.65	0.014
Upper leg	Flexion/Extension	12.36	0.001	4.90	0.033	3.39	0.074
Lower leg	Flexion	3.12	0.086	3.88	0.057	0.32	0.574
Foot	Plantar/Dorsi Flexion	0.01	0.921	0.78	0.382	0.24	0.626

Table 3. Means (standard deviations) of range of motion by age and gender

Segment	Motion	Young (°)	Old (°)	Difference (%)	Male (°)	Female (°)	Difference (%)
Head	Flexion/Extension	122.8 (13.9)	104.1 (15.0)	15	109.4 (16.4)	117.5 (17.3)	-7
Upper arm	Flexion/Extension	171.2 (22.2)	164.3 (11.1)	4	166.3 (18.9)	169.2 (16.7)	-2
Lower arm	Flexion	121.5 (10.4)	112.4 (10.1)	7	109.8 (8.9)	124.1 (8.1)	-13
Hand	Flexion/Extension	101.8 (16.8)	71.0 (12.8)	30	91.8 (22.6)	82.7 (19.8)	10
Trunk	Flexion/Extension	67.1 (13.0)	54.6 (23.7)	19	65.7 (19.0)	56.0 (20.1)	15
Upper leg	Flexion/Extension	114.1 (19.7)	97.6 (13.0)	14	110.9 (20.5)	101.0 (15.1)	9
Lower leg	Flexion	122.7 (11.9)	129.8 (14.1)	-6	122.3 (14.6)	130.2 (10.9)	-6
Foot	Plantar/Dorsi Flexion	81.1 (22.3)	74.0 (17.2)	9	76.7 (19.1)	78.6 (21.4)	-2

연령의 경우, 대체적으로 연령의 증가에 따른 동작 범위의 감소를 보였다. 연령에 따른 동작 범위 차이의 정도는 체절과 동작의 종류에 따라 다르게 나타났다(Table 3). 예를 들면, 손의 굴곡/신전(30%), 허리의 굴곡/신전(19%), 머리의 굴곡/신전(15%), 위다리의 굴곡/신전(14%)순으로 연령의 증가에 따른 동작 범위의 큰 감소를 보였다. 위팔의 굴곡/신전과 발의 저측/배측 굴곡 역시 청년층이 중장년층보다 높은 동작 범위를 보였지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 반면에 아래다리의 굴곡의 경우 중장년층이 청년층보다 높은 동작 범위를 보였지만 유의한 차이는 나타나지 않았다.

성별의 경우, 대체적으로 여성이 남성보다 높은 동작 범위를 보였으며 체절과 동작의 종류에 따라 동작 범위의 차이가 다르게 나타났다(Table 3). 예를 들면, 성별의 경우 아래팔의 굴곡(-13%)은 여성이 남성보다 높은 동작 범위를 보였다. 머리의 굴곡/신전, 위팔의 굴곡/신전, 아래다리의 굴곡, 발의 저측/배측 굴곡의 경우 역시 여성이 남성보다 높은 동작 범위를 보였지만 통계적으로는 유의하지 않았다. 반면에 위다리의 굴곡/신전(9%)의 경우 남성이 여성보다 높은 동작 범위를 나타냈다.

4. Conclusion

본 연구 결과 연령은 전체 18개 동작 중 5개 동작에 유의한 영향을 미쳤고, 성별은 전체 동작 중 2개의 동작에만 유의한 영향을 보였다. 즉, 종합적으로 연령이 성별보다 동작 범위에 더 높은 영향을 미친다는 것을 알 수 있으며 이는 기존 연구들의 결과와 유사하였다(Chaparro et al., 2000; Doriot and Wang, 2006;).

머리의 경우 굴곡/신전에서 연령에 따른 차이만 발생하였고 성별의 차이는 유의하지 않게 나타났다. 이와 같은 연령에 따른 머리 동작 범위의 감소는 연골의 유연성 감소와 인대의 인장력 감소 때문으로 추정된다(Chung and Wang, 2009). 위팔의 경우 굴곡/신전에 대해 연령과 성별

모두 유의한 영향이 없는 것으로 나타났다.

아래팔의 경우 굴곡에서 연령과 성별에 따른 차이가 모두 발생하였다. 연령에 따른 동작 범위의 감소는 중장년층의 경우 일상생활에서 굴곡의 잦은 사용이 누적되어 관절과 이를 둘러싼 조직의 손상을 일으킨 것으로 추정된다(Boone and Azen, 1979). 성별의 차이는 남성의 경우 대체적으로 여성보다 상완이두근이 비대하며 이는 동작 범위의 감소를 일으킨 것으로 보인다(Stubbs et al., 1993). 손의 경우 굴곡/신전에서 연령에 따른 차이만 발생하였고 성별은 유의하지 않았다. 이와 유사하게 Stubbs et al. (1993)은 신전에서 연령의 차가 가장 크게 나타났다고 보고한 바 있다.

허리의 경우 굴곡/신전에서 연령에 따른 차이가 발생하였고 성별은 유의한 영향이 없었다. 연령에 따른 동작 범위의 감소는 중장년층에서 척추 내의 퇴행성 변화와, 연조직 내 콜라겐 섬유질 교차성 결합의 증가로 인한 탄력의 저하 때문인 것으로 보인다(Twomey and Taylor, 1980).

위다리의 경우 굴곡/신전에서 연령과 성별에 따른 차이가 발생하였다. 이와 유사하게 James and Parker (1989)는 굴곡에서 연령에 따라 20°의 차이를 보였다. 아래다리 굴곡의 경우 연령과 성별 모두 유의한 영향이 없었다. Roach and Miles (1991) 역시 아래다리의 굴곡은 연령의 차이가 작다고 보고하고 있다. 발의 경우 연령과 성별에 따른 동작 범위의 차이가 유의하게 발생하지 않았다.

본 연구는 기존 연구들과 일반적으로 유사한 결과를 도출하였지만 동작 범위의 정도에 있어서는 변이가 있었다. 이는 피실험자의 수, 성별, 직종, 능한 체절, 측정 시 자세와 장비의 종류, 역학 알고리즘의 차이가 연구들 간 발생하기 때문인 것으로 추정된다. 본 연구에서 얻은 연령과 성별에 따른 동작 범위의 추세 정보는 동양인 전신의 동작 범위에 대한 기본 정보를 제공하고, 연령과 성별을 고려한 작업장을 설계하는 데 있어서 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 예상된다.

References

Boone, D. C. and Azen, S. P., Normal range of motion of joints in male subjects, *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 61, 756-759, 1979.

Chaparro, A., Rogers, M., Fernandez, J., Bohan, M., Choi, S. D. and Stumpfhauser, L., Range of motion of the wrist: implications for designing computer input devices for the elderly, *Disability and Rehabilitation*, 22(13/14), 633-637, 2000.

Chung, M. J. and Wang, M. J. J., The effect of age and gender on joint range of motion of worker population in Taiwan, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39, 596-600, 2009.

Doriot, N. and Wang, X., Effects of age and gender on maximum voluntary range of motion of the upper body joints, *Ergonomics*, 49(3), 269-281, 2006.

Grimston, S. K., Nigg, B. M., Hanley, D. A. and Engsberg, J. R., Differences in ankle joint complex range of motion as a function of age, *Foot & Ankle*, 14(4), 215-222, 1993.

Harryman, D. T., Sidles, J. A., Clark, J. M, McQuade, K. J., Gibb, T. D. and Matsen, F. A., Translation of the humeral head on the glenoid with passive glenohumeral motion, *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 72, 1334-1343, 1990.

James, B. and Parker, A. W., Active and passive mobility of lower limb joints in elderly men and women, *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 68(4), 162-167, 1989.

Stubbs, N. B., Fernandez, J. E. and Glenn, W. M., Normative data on joint ranges of motion of 25- to 54-year-old males, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 12, 265-272, 1993.

Twomey, L. T. and Taylor, J. R., Age changes in the lumbar articular triad, *The Australian Journal of Physiotherapy*, 31(3), 106-112, 1985.

Author listings

Jaejin Hwang: jaejini1@ajou.ac.kr

Highest degree: M.S., Department of Industrial and Information Systems Engineering, Ajou University
Position title: Researcher, Department of Industrial and Information Systems Engineering, Ajou University
Areas of interest: Work design, ergonomics, and biomechanics

Doo-Hwan Kwak: kwakdoo@ajou.ac.kr

Highest degree: B.S., Department of Industrial and Management Engineering, Namseoul University
Position title: M.S. Candidate, Department of Industrial and Information Systems Engineering, Ajou University
Areas of interest: Biomechanics, ergonomics, and work design

Jae-Min Woo: wooje8411@ajou.ac.kr

Highest degree: B.S., Department of Industrial and Management Engineering, Namseoul University
Position title: M.S. Candidate, Department of Industrial and Information Systems Engineering, Ajou University
Areas of interest: Ergonomics and product development

Myung-Chul Jung: mcjung@ajou.ac.kr

Highest degree: Ph.D., Department of Industrial Engineering, Pennsylvania State University
Position title: Associate Professor, Department of Industrial and Information Systems Engineering, Ajou University
Areas of interest: Work design, ergonomics, and product development