Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 30, No. 3 pp.381-387, June 2011 DOI:10.5143/JESK.2011.30.3.381

Investigation of the Effects of Resting Time and Trial on the Maximal Grip Strength

Doo-Hwan Kwak[1], Kyung-Sun Lee[1], Jong-Seon Kwag[1], Myung-Chul Jung[1], Yong-Ku Kong[2]

[1]Department of Industrial and Information Systems Engineering, Ajou University, Suwon, 440-749
[2]Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746

ABSTRACT

Objective: The aim of this study was to investigate the maximal grip strength for the combinations of resting time and trial and to provide guideline of resting time for the maximum gripping task associated with the number of trials. **Background:** Despite many previous researches for the maximal grip strength, few studies have considered the effect of both trials and rest time on the maximum grip strength. **Methods:** A total of thirty subjects participated in the study. The average of maximum grip strength was measured using JAMAR hydraulic hand dynamometer. The testing position was same as the position recommended by the American Society of Hand Therapists. The between-subject experimental design has been conducted in this study. Trials(1~20 trials) and rest time(2, 3, and 4min) were considered as independent variables, and the maximum grip strength was considered as dependent variable, respectively, in this study. **Results:** According to the result of the number of trials, the maximal grip strength decreased gradually as the number of trials increased. The ANOVA result showed that the main effect was significant for both resting time(p<.0001) and trial(p<.0001), and the interaction was significant(p<0.0086). **Conclusions:** The maximal grip strength decreased gradually as the number of trials increased. Thus, basic guideline of resting time was suggested for the number of trials of maximal grip strength tests in this study.

Keywords: Grip strength, Resting time, Trial

1. Introduction

작업관련성 근골격계질환(Work-related Musculoskeletal Disorders: WMSDs)의 비율은 해가 거듭될수록 매년 높게 증가하는 추세이다(Kim and Bae, 2006). 우리나라의 노동부(2009)에서 제공한 산업재해통계에 따르면, 2004년에는 전체 산업재해자 88,874명 중에서 근골격계질환자수 4,112명으로 전체 산업재해자의 4.6%을 차지하였으며, 2009년도에는 전체 산업재해자 97,821명 중에서 6,234명으로 전체 산업재해자의 6.4%을 나타냈다. 이처럼 근골격계질환자의 비율은 최근 6년 동안 1.8% 증가하였다. 신체부위별 발생하는 근골격계질환의 비율을 살펴보면 요통질환보다는 상지에서 발생하는 근골격계질환(Musculoskeletal Disorders of Upper extremities)이 많이 발생한다(Baker, 1995; Kim et al., 2010). 또한, 스웨덴 산업재해통계 자료에서도 손가락, 손 그리고 손목이 포함된 직업적 상해가 32%를 차지한다고 한다(Mital and Kilbom, 1992).

상지에서 발생하는 근골격계질환의 위험 요인으로는 반복동작, 과도한 힘, 부자연스런 자세, 낮은 온도와 진동 등으로 보고되고 있는데(Hertzberg, 1955; Putz-Anderson, 1988; Armstrong et al., 1989), 이와 같은 위험 요인들의 지속적인 노출은 통증, 부움, 저림과 함께 악력의 감소 등을 유발한다(Kattel et al., 1996). 이러한 다양한 위험 요인 중에서 특히, 과도한 힘과 지속적인 단순반복동작은 근골격계질환 유발을 높이는 주요 원인이 되고 있다(Moore et al.,

Corresponding Author: Yong-Ku Kong. Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746.
E-mail: ykong@skku.edu
Copyright@2011 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.

1991; Hägg et al., 1997). 이는 산업의 발달에 따른 작업환경의 자동화 및 제조공정의 자동화로 인한 반복적인 동작이 상지에서 흔히 발생하기 때문이다.

상지에서 발생하는 근골격계질환 중 손과 관련된 근골격계 질환을 평가하기 위한 대표적인 방법으로 악력 측정 기법이 사용되며 이러한 악력 측정은 일상생활을 생활하는데 있어서 작업의 수행능력과 그에 따른 인체 손상의 평가(Richard, 1997), 상지 기능 평가(Richard, 1997; Watson and Ring, 2008), 인간공학적 수공구 개발 및 평가하는데 사용되고 있다(Kong et al., 2005; Lu et al., 2008). 또한, 의학분야와 재활분야에서는 일반인과 환자와의 기능 차이를 평가하며 그에 따른 치료를 위한 지표로 사용되고 있다(Boissey et al., 2001; Lau and Ip, 2006).

악력 측정방법을 통하여 반복성이 신체에 끼치는 영향을 분석하기 위한 연구는 활발히 진행되어 왔다. Montazer and Thomas(1991)은 로그 함수를 활용하여 반복횟수에 따른 최대악력의 변화에 대해 예측하였으며 이때 휴식시간은 최대악력 측정 후 15초를 부여하였다. 그 결과, 30번의 반복 측정 시 1회와 비교하였을 때 최대악력은 약 30% 감소한다고 예측하였다. 또한, 이들은 이 결과를 검증하기 위하여 200번의 반복 악력 측정을 통해 최대악력 변화를 분석하였는데, 그 결과 100번과 200번의 반복 악력을 측정하였을 때 각각 최대악력의 약 40%와 50%가 감소한다는 결과를 제시하였다(Montazer and Thomas, 1992). Mathiowetz (1990)은 총 3번의 반복 측정 동안 각각 15초의 휴식시간을 부여하였을 때 최대악력은 통계적으로 차이를 나타내지 않았으나, 반복횟수가 증가할수록 악력은 감소한다는 결과를 제시하였다. Shechtman(2003) 또한 24회의 반복 측정 동안에 반복횟수가 증가할수록 최대악력은 감소한다는 결과를 제시하였다. 이처럼 악력은 반복횟수가 증가할수록 감소하는 현상을 나타낸다.

이와 같은 결과의 원인은, 반복 악력 측정에 의하여 피로효과(fatigue effect)가 발생하기 때문이며, 이러한 피로효과를 최소화 하기 위하여 적절한 휴식시간을 부여하는 것이 중요하다(Mathiowetz, 1990). 악력 측정과 휴식시간과의 관계를 파악한 선행 연구를 살펴보면, Trossman and Li (1989)는 5회 악력 측정 동안 60초, 30초 그리고 15초의 휴식시간 차이가 악력에 미치는 영향을 분석하였다. 그 결과, 60초의 휴식시간은 30초와 15초에 비해 반복 측정횟수에 의한 악력 감소가 가장 적기 때문에 정적 수축의 측정에는 60초의 휴식시간을 부여하는 것이 좋다고 권고하였다. 이에 반해, Caldwell(1974)는 악력 측정 시 최소 휴식시간을 2분 부여하는 것이 좋다고 권고하였으며 그 밖의 많은 연구에서는 최대 정적 악력 측정에서 피로효과를 최소화하기 위하여 3분의 휴식시간을 사용하였다(Garg et al., 2005; Chow and Dickerson, 2009).

국내에서 진행된 악력과 관련된 연구들을 살펴보면, 대부분의 연구들이 관절의 각도 및 자세의 변화에 따른 최대악력에 대해서만 연구가 진행되어 왔다(Kim et al., 2006; Kong et al., 2009). 또한 반복 측정과 휴식시간에 관한 국내 연구는 찾아보기 힘들며, 대부분의 연구들이 기존 선행연구에 따라 2~3분의 휴식시간을 부여하여 악력 실험을 진행하고 있다.

선행 연구 결과에서도 알 수 있듯이, 최대악력은 반복횟수와 휴식시간에 따라 영향을 받는다. 하지만 반복횟수와 휴식시간과의 조합에 따른 최대악력 변화를 명확하게 규명하기 위한 연구가 부족하며, 몇몇 진행된 연구들 또한 국외의 연구이기 때문에 국내 실정에 맞는 연구가 필요하다.

따라서 본 연구의 목적은 1~20회의 반복 측정횟수와 2분, 3분, 그리고 4분의 휴식시간이 최대악력에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 이를 통하여, 측정횟수에 따른 적정 휴식시간에 대한 가이드라인을 제시하는 것이 본 연구의 궁극적인 목적이다.

2. Method

2.1 Subjects

본 실험은 20대 남성 30명을 대상으로 실시하였다. 이들은 모두 오른손잡이로 손과 손목 관련 질병이나 질환이 없었다. 전체 피실험자의 평균 연령은 23.9±1.2세이고, 신장 및 몸무게의 평균은 각각 175.2±4.0cm와 74.6±10.9kg이었다. 피실험자는 무작위 방법으로 10명씩 3그룹으로 나누었다. 실험에 참가한 피실험자들의 기본 인체 측정치는 Table 1과 같다.

Table 1. Anthropometric information of subjects

Variable	Mean(SD)	Variable	Mean(SD)
Age (years)	23.9 (±1.2)	Height (cm)	175.2 (±4.0)
Weight (kg)	74.6 (±10.9)	Sitting height (cm)	91.8 (±3.1)
Hand width (cm)	8.2 (±0.3)	Hand length (cm)	18.7 (±0.8)

2.2 Equipment

최대악력은 악력계(Model No, PC 5030J1, JAMAR Hydraulic Hand Dynamometer, USA)를 사용하여 측정

하였다. 악력계의 쥐기 간격은 악력 측정 시 가장 흔히 사용되는 3.8cm로 설정하였다(Mathiowetz et al., 1984). 또한, 피실험자의 기본적인 인체치수(키, 앉은키, 손너비와 손길이)를 측정하기 위해 마틴식 인체 측정기(Yamakoshi Seisakusho, JAPAN)를 사용하였다.

2.3 Experimental design

본 실험의 독립변수로는 측정횟수(20수준: 1~20회)와 휴식시간(3수준: 2분, 3분 그리고 4분)이다. 종속변수로는 각 피실험자의 1회 측정 악력에 대한 변화 비율이다. 이는 개인차를 감안하는 방안으로 첫 번째 측정 시의 최대악력을 100%로 하여 그 외 실험조건에서의 값을 상대적으로 나타냈다. 본 연구에서는 독립변수의 조건에 대해 20×3 Between-subjects Design을 사용하여 실험을 실시하였으며, 각각의 실험변수들이 최대악력에 미치는 영향을 통계적으로 검증하기 위하여 유의수준 0.05로 한 분산분석(2-way ANOVA)를 실시하였다. 또한 통계적으로 유의한 차이를 나타낸 변수들에 있어서 변수 수준별 차이를 알아보기 위하여 Tukey HSD Test를 실시하였다. 자료의 통계분석에는 SAS Ver 9.1(SAS, institute Inc.)을 사용하였다.

2.4 Procedure

실험 전 모든 피실험자들에게 실험방법 및 진행 절차에 대한 정보를 제공한 후 피실험자의 참가 동의를 얻었다. 그리고 마틴식 인체 측정기를 이용하여 키, 앉은키, 손너비와 손길이를 측정하였다.

피실험자는 ASHT(American Society of Hand Therapists, Fess and Moran, 1981)의 권고대로, 의자에 곧게 앉아 있는 자세에서 어깨 각도 0°, 팔꿈치 각도 90°그리고 손목 각도 0°의 자세에서 최대악력을 5초간 측정하였다(Figure 1).



Figure 1. Experimental posture

3그룹으로 구분된 그룹은 각각 1그룹은 2분 휴식, 2그룹은 3분 휴식, 3그룹은 4분 휴식을 부여하였으며, 피실험자당 총 20회 반복적인 최대악력을 측정하였다. 실험은 피실험자당 당일에 걸쳐 진행되었으며, 실험시간은 1그룹(약 42분), 2그룹(약 62분), 3그룹(약 82분) 소요되었다. 독립변수 조합에 대한 실험순서는 무작위로 선정하여 실험을 실시하였다.

3. Results

분산분석을 실시한 결과, 주효과로서 측정횟수(p<0.001)와 휴식시간(p<0.001)은 통계적으로 유의한 결과를 나타냈다. 측정횟수와 휴식간격의 교호작용(p=0.0086) 또한 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(Table 2).

Table 2. Results of ANOVA

Source	DF	SS	MS	F	p-value
Trial	19	1.287	0.068	50.44	<.0001
Rest time	2	0.031	0.016	11.65	<.0001
T×R	38	0.085	0.002	1.67	0.0086

통계적으로 유의한 결과를 나타낸 측정횟수에 대한 Tukey Test 결과, 1~5, 5~8, 8~11, 11~13, 13~17, 17~19, 19~20 trial으로 7그룹으로 구분되었다(Table 3). 최대악력은 1회 측정 시와 비교하였을 때 6회가 넘어서부터 5%로 감소하는 것으로 나타났으며, 13회가 넘어서부터 10% 감소를 나타냈다.

또한 통계적으로 유의한 차이를 나타낸 휴식시간에 대한 Tukey test 결과는 Figure 2와 같다. 휴식시간을 2분(91.68%) 부여하였을 때 평균 최대악력의 변화가 가장 크게 나타났으며, 3분(93.12%)과 4분(93.26%)에서의 평균 악력의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 이처럼 2분의 휴식시간은 3분과 4분의 휴식시간과는 차이를 나타내지만 3분과 4분간에는 차이를 나타내지 않았다.

측정횟수와 휴식시간과의 교호작용은 통계적으로 유의한 결과를 나타냈으며, 측정횟수와 휴식시간에 따른 최대악력을 살펴보면 Table 4와 같은 결과를 나타냈다.

1회 측정 시의 악력과 비교하였을 때, 5% 이하의 차이를 나타내는 반복횟수는 2분의 휴식 상태에서는 6회, 3분 7회,

Table 3. Maximal grip strengths (%) according to trials

Trial	Mean(SD)	Trial	Mean(SD)
1	100.00^{A}	11	92.45(±5.99)^{EF}
2	99.89(±2.01)^{A}	12	90.78(±5.74)^{FG}
3	98.87(±2.63)^{AB}	13	90.58(±5.81)^{FGH}
4	98.40(±3.64)^{AB}	14	89.05(±5.58)^{GHI}
5	97.94(±3.74)^{ABC}	15	88.54(±4.87)^{GHI}
6	96.42(±3.99)^{BCD}	16	88.43(±5.44)^{GHI}
7	94.76(±4.49)^{CDE}	17	87.68(±6.00)^{GHI}
8	94.72(±4.68)^{CDE}	18	87.29(±6.88)^{HIJ}
9	94.20(±6.54)^{DE}	19	86.47(±6.87)^{IJ}
10	93.27(±5.61)^{DEF}	20	84.79(±7.44)^{J}

[Note: Superscript letters represent groupings by statistical significance. light grey area- less than 5% reduction area of maximum grip strength; dark grey area- 5~10% reduction area of maximum grip strength]

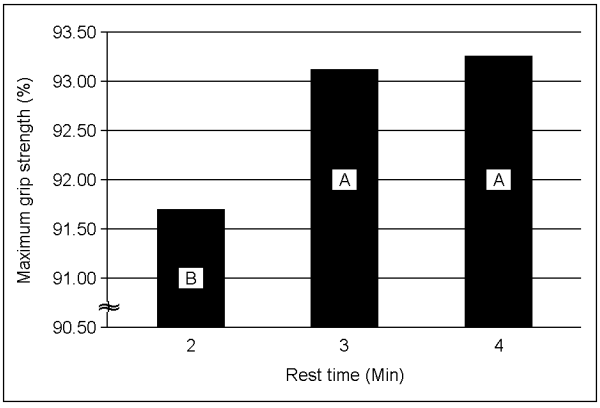


Figure 2. Maximal grip strengths according to resting time [Note: Superscript letters represent groupings by statistical significance]

Table 4. A reduction (%) of maximal grip strength according to trial and resting time

Trial	Resting time		
	2min.	3min.	4min.
1	100%	100%	100.00%
2	99.67%	100.44%	99.52%
3	99.84%	98.87%	97.46%
4	99.10%	99.05%	96.90%
5	99.34%	98.15%	97.33%
6	96.29%	96.88%	96.06%
7	94.09%	96.88%	94.63%
8	95.79%	93.76%	94.62%

Table 4. A reduction (%) of maximal grip strength according to trial and resting time (Continued)

Trial	Resting time		
	2 min.	3 min.	4 min.
9	93.48%	93.80%	95.35%
10	93.32%	93.11%	93.38%
11	91.92%	93.27%	92.16%
12	89.14%	90.79%	92.40%
13	88.35%	91.23%	92.15%
14	87.69%	90.17%	89.30%
15	87.00%	89.62%	89.30%
16	86.48%	89.74%	89.08%
17	85.36%	87.39%	89.29%
18	83.33%	88.66%	89.88%
19	83.07%	87.06%	89.28%
20	81.69%	84.83%	87.86%

[Note: light grey area- less than 5% reduction area of maximum grip strength; dark grey area- 5~10% reduction area of maximum grip strength]

그리고 4분은 6회를 나타냈다. 이처럼 1회 측정 시와 비교하였을 때 5% 이하의 감소폭은 2분, 3분, 그리고 4분에서 크게 차이를 나타내지 않았다. 하지만, 1회 측정 시와 10% 이상의 차이를 나타내는 반복횟수에서는 휴식시간에 따라 큰 차이를 나타냈다. 2분 휴식을 부여하였을 경우, 반복횟수가 12회 이상에서부터 10% 이상의 감소율을 나타냈으며, 3분과 4분의 휴식시간을 부여하였을 때에는 각각 14회 그리고 15회로 두 그룹간에는 차이를 나타내지 않았다.

4. Discussion

본 실험의 결과, 측정횟수와 휴식시간은 최대악력 변화에 미치는 영향이 통계적으로 유의한 것으로 분석되었으며 마찬가지로 측정횟수와 휴식시간의 교호작용은 유의한 결과를 나타냈다.

측정횟수에 따른 최대악력 변화 추이를 살펴보면, 측정횟수가 증가함에 따라 최대악력 또한 점차 감소하는 현상을 나타냈다. 본 연구의 결과 1회 측정 시와 비교하였을 때, 10회 반복 측정 시 최대악력은 약 6.7%의 감소를 나타냈으며, 20회 측정 시에는 약 15.2%의 감소를 나타냈다. 본 연구의 결과는 선행 연구의 결과와 유사하게 실험횟수의 증가에 따라 최대악력은 점차 감소하는 현상을 나타냈다.

Montazer and Thomas(1991)의 연구 결과에서는 1회

측정과 비교하였을 때 10회 측정 시 최대악력은 약 15.0% 감소를 나타냈다. 또한 Knudson and Noffal(2005)의 연구에서는 10회 측정 시 최대악력은 1회 측정 시와 비교하였을 때 약 9.3%로 감소함을 나타냈다. 이처럼 측정횟수는 최대악력과 강한 상관 관계를 나타낸다. 선행 연구들의 결과와 본 연구의 결과를 비교하였을 때, 반복횟수에 따른 최대악력의 감소폭이 다소 차이를 보이고 있지만, 이는 각각의 연구마다 휴식시간부여, 성별, 측정자세의 차이 때문으로 예상된다.

휴식시간 차이에 따른 최대악력의 변화 결과를 살펴보면, 3분과 4분 사이의 휴식시간에서는 최대악력에 차이를 나타내지 않았으나, 2분과는 통계적으로 유의한 최대악력의 차이를 나타냈다. 즉, 반복횟수 20회일 때의 휴식시간에 따른 최대악력을 비교해보면 2분의 휴식시간을 부여하였을 때의 최대악력은 4분의 휴식시간을 부여하였을 때보다 6.2% 정도 감소하는 경향을 나타냈다.

휴식시간에 대한 선행 연구의 결과를 본 연구의 결과와 비교하여 보면 Trossman and Li(1989)는 5번 측정 시 1분의 휴식시간을 권고하고 있다. 이와 유사하게 Patternson and Baxter(1998)의 연구에서도 3번 측정 시 휴식시간을 1분 부여하였을 때에는 최대악력이 변함 없이 유지된다고 하였다. 위의 권고와는 다르게 Caldwell et al.(1974)은 정적 상태의 힘(static strength)을 3번 반복 측정하고자 할 때, 최소한 2분의 휴식시간을 부여하는 것을 권고하고 있다. 본 연구의 결과에서도 1회 측정 시의 최대악력과 5회 측정 시의 최대악력을 휴식시간에 따라 비교해 보면, 2분, 3분, 4분을 부여하였을 때 약 2%의 감소를 나타내며 차이를 보이지 않았다. 이처럼 측정횟수가 5회 이하에서는 기존 연구의 결과와 유사한 결과를 나타냈다. 하지만 본 연구와 같이 측정횟수가 많은 경우에는 2분의 휴식시간을 부여하였을 때의 최대악력은 3분과 4분의 휴식시간을 부여하였을 때와 차이를 나타냄을 알 수 있다. Pitcher and Miles(1997)의 연구에 따르며, 쥐는 힘(hand-grip force) 측정 동안 최대악력 값이 정상적으로 회복되는데 걸리는 최소한의 시간은 3.5분이라고 한다. 본 연구의 결과에서 3분과 4분의 휴식시간에 따른 최대악력의 차이가 통계적으로 유의하지 않은 이유도 이와 같이 회복시간 때문으로 예상된다.

본 연구의 결과에서는 측정횟수와 휴식시간과의 교호작용은 통계적으로 유의한 결과를 나타냈다. 본 실험의 결과, 6회 이하의 반복 측정 실험의 경우에는 2분의 실험시간을 부여하여도 5% 이하의 감소율을 나타내기 때문에 실험 결과에 큰 영향을 주지 않는다. 따라서, 6회 이하의 반복 측정 실험에서는 휴식시간을 2분 부여하는 것을 권고한다.

피실험자의 최대악력 측정치 간의 차이를 10% 이내의(즉, 피실험자의 최대악력 90% 이상 유지) 허용오차범위로 한다면, 총 실험측정횟수가 1~10회 이하인 경우에는 2분, 총 실험측정횟수가 1~14회 이하인 경우에는 3분의 휴식시간을 권장하며 비록 10%보다는 다소 크지만 1~19회 이하인 경우에는 4분의 휴식시간을 권장한다(Table 4의 짙은 회색 부분).

본 연구는 최대악력 측정 시 ASHT에서 제안하는 자세에 있어서 측정횟수와 휴식시간과의 관계를 분석하였다. 본 연구의 장점은 기존 연구에서 몇몇 한정된 측정횟수에 대하여 휴식시간과의 관계를 파악한 문제점을 해결하기 위하여 다양한 측정횟수와 휴식시간을 고려한 점이다. 본 연구는 악력과 관련된 손목의 자세, 어깨의 자세 그리고 쥐기 간격 등 다양한 변수를 고려하지 않았다는 한계점이 있다. 따라서 추후 악력과 관련된 다양한 변수에 따른 측정횟수와 휴식시간과의 관계를 파악하는 연구를 수행해야 할 것이다.

본 연구 결과의 활용방안은 악력 실험 시 반복 측정횟수에 따른 적절한 휴식시간 선정에 가이드라인으로 활용될 것이다.

References

Armstrong, T. J., Ulin, S. and Ways, C., "Hand tools and control of cumulative trauma disorders of the upper limb", *International Occupational Ergonomics Symposium*, 3(pp.43-50), Philadelphia, PA, 1989.

Barker, K. L., Repetitive strain injury - A review of the legal issues, *Physiotherapy*, 81, 103-106, 1995.

Boissey, P., Bourbonnais, D., Carliotti, M. M., Gravel, D. and Arsenault, B. A., Maximal grip force in chronic stroke subjects and its relationship to global upper extremity function, *Clinical Rehabilitation*, 13(4), 354-362, 1999.

Caldwell, L. S., Chaffin, D, B., Dukes-Dobos, F. N., Kroemer, K. H., Laubach, L, L., Snook, S, H. and Wasserman, D. E., A proposed standard procedure for static muscle strength testing, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 35(4), 201-206, 1974.

Chow, A. and Dickerson, C. R., Shoulder strength of females while sitting and standing as a function of hand location and force direction, *Applied Ergonomics*, 40(2), 303-308, 2009.

Fess, E. E. and Moran, C., Clinical assessment recommendations. Indianapolis, *American Society of Hand Therapist, Monograph*, 1981.

Garg, A., Hegmann, K. T. and Kapellusch, J., Maximum one-handed shoulder strength for overhead work as a function of shoulder posture in females, *Occupational Ergonomics*, 5(3), 131-140, 2005.

Hägg, G. M., Öster, J. and Byström, S., Forearm muscular load and wrist angle among automobile assembly line workers in relation to symptoms, *Applied Ergonomics*, 28(1), 41-47, 1997.

Hertzberg, T., Some contributions of applied physical anthropometry to human engineering. *Annals of the New York Academy of Science*, 63,

616-629, 1955.

Kattel, B. P., Fredericks, T. K., Fernandez, J. E. and Lee, D. C., The effect of upper-extremity posture on maximum grip strength, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 18(5), 423-429, 1996.

Kim, D., Park, G., Kee, D. and Chung, M. K., The effect of shoulder and elbow postures with external loads on the perceived discomfort, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 25(4), 145-151, 2006.

Kim, K. S., Park, J. K. and Kim, D. S., Status and characteristics of occurrence of work-related musculoskeletal disorders, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(4), 405-422, 2010.

Kim, Y. C. and Bae, C. H., Study of the relation between work-related musculoskeletal disorders and job stress in heavy industry, *Journal of the Korea Society of Safety*, 21(4), 108-113, 2006.

Kong, Y. K. and Lowe, B. D., Evaluation of handle diameters and orientations in a maximum torque task, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35, 1073-1084, 2005.

Kong, Y. K., Sohn, S. T., Kim, D. M. and Jung, M. C., Grip force, finger force, and comfort analyses of young and old people by hand tool handle shapes, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 28(2), 27-34, 2009.

Knudson, D. and Noffal, G., Time course of stretch-induced isometric strength deficits, *European Journal of Applied Physiology*, 94(2), 348-351, 2005.

Lau, V. W. S. and Ip, W. Y., Comparison of power grip and lateral pinch strengths between the dominant and non-dominant hands for normal Chinese male subjects of different occupational demand, *Hong Kong Physiotherapy Journal*, 24, 16-22, 2006.

Lu, M. L., James, T., Lowe, B., Barrero, M. and Kong, Y. K., An investigation of hand forces and postures for using selected mechanical pipettes, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38, 18-29, 2008.

Mathiowetz, V., Weber, K., Volland, G. and Kashman, N., Reliability and validity of grip and pinch strength evaluations, *Journal of hand surgery*, 9A, 222-226, 1984.

Mathiowetz, V., Effects of three trials on grip and pinch strength measurements, *Journal of Hand Therapy*, 3, 195-198, 1990.

Mital and Kilbom, Design, selection and use of hand tools to alleviate trauma of the upper extremities Part II - The scientific basis (knowledge base) for the guide, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 10, 7-21, 1992.

Montazer, M. A. and Thomas, J. G., Grip strength as a function of repetitive trials, *Perceptual and Motor Skills*, 73(3), 804-806, 1991.

Montazer, M. A. and Thomas, J. G., Grip strength as a function of 200 repetitive trials, *Perceptual and Motor Skills*, 75(2), 1320-1322, 1992.

Moore, A., Wells, R. and Ranney, D., Quantifying exposure in occupational manual tasks with cumulative trauma disorder potential, *Ergonomics*, 34(12), 1433-1453, 1991.

Patterson, R. P. and Baxter, T., A multiple muscle strength testing protocol, *Arch Physical Medicine and Rehabilitation*, 69, 66-368, 1988.

Pitcher, J. B. and Miles, T. S., Influence of muscle blood flow on fatigue during intermittent human hand-grip exercise and recovery, *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 24, 471-476, 1997.

Putz-Anderson, V., *Cumulative trauma disorders: A manual for musculo-skeletal diseases of the upper limbs*, 1st ed., London: Taylor & Francis, 1988.

Richards, L. G., Olson, B. and Palmiter-Thomas, P., How forearm position affects grip strength, *American Journal Occupational Therapy*, 50(2), 133-138, 1996.

Shechtman, O., Sindhu, B. S. and Davenport, P. W., Using the force time curve to detect maximal grip strength effort, *Journal of Hand Therapy*, 20(1), 37-48, 2007.

Trossman, P. B. and Li, P. W., The effect of the duration of intertribal rest periods on isometric grip strength performance in young adults, *Occupation Therapy Journal OF Research*, 9, 362-378, 1989.

Watson, J. W. and Ring, D. R., Influence of psychological factors on grip strength, *The Journal of Hand Surgery*, 33(1), 1791-1795, 2008.

Author listings

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

Highest degree: BS, Department of Industrial and Management Engineering, Namseoul University
Position title: MS. Candidate, Department of Industrial and Information Systems Engineering, Ajou University
Areas of interest: Biomechanics, Ergonomics, Work Design

Kyung-Sun Lee: lks79s@ajou.ac.kr

Highest degree: MS, Department of Industrial and Information Systems Engineering, Ajou University
Position title: PhD. Candidate, Department of Industrial and Information Systems Engineering, Ajou University
Areas of interest: Ergonomics, Hand Biomechanics, Work Design

Jong-Seon Kwag: jskwag@enterpriz.net

Highest degree: MS, Department of Industrial Engineering, Han Yang University
Position title: PhD. Candidate, Department of Industrial and Information Systems Engineering, Ajou University
Areas of interest: Biological Signal Processing, Work Design, Ergonomics

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

Highest degree: PhD, Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Pennsylvania State University
Position title: Associate Professor, Department of Industrial and Information Systems Engineering, Ajou University
Areas of interest: Work Design, Ergonomics, Product Development

Yong-Ku Kong: ykong@skku.edu

Highest degree: PhD, Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Pennsylvania State University

Position title: Professor, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University

Areas of interest: Physical Ergonomics, WMSDs, Finger/Hand Modeling

Date Received : 2010-12-29

Date Revised : 2011-04-19

Date Accepted : 2011-04-20