

# The Accuracy of Subjective Rating of Grip Strength Associated with Target Force Levels

Yong-Ku Kong<sup>1</sup>, Donghyun Park<sup>2</sup>, Kyeong-Hee Choi<sup>1</sup>, Jae-Min Shin<sup>1</sup>, Juhee Lee<sup>1</sup>, Jun-Hyub Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon-si, 16419

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, Inha University, Incheon, 22212

## Target Force Level에 따른 악력의 주관적 평가 정확도

공용구<sup>1</sup>, 박동현<sup>2</sup>, 최경희<sup>1</sup>, 신재민<sup>1</sup>, 이주희<sup>1</sup>, 이준협<sup>1</sup>

<sup>1</sup>성균관대학교 산업공학과

<sup>2</sup>인하대학교 산업경영공학과

### Corresponding Author

Jun-Hyub Lee

Department of Industrial Engineering,  
Sungkyunkwan University, Suwon-si,  
16419

Mobile : +82-10-6794-0018

Email : ybyb1@naver.com

Received : September 08, 2017

Revised : September 25, 2017

Accepted : October 12, 2017

Copyright©2017 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Objective:** The purposes of this experiment are an analysis of accuracy between target force level and subjective rating for the Target Force Level and an analysis of the patterns of subjective rating depending on target force level when there is no feedback from males for analysis.

**Background:** The study of perceived exertion about the static contraction is processed with using among the matching procedure method between contralateral limbs, Exertion vs. Borg CR-10 scale and Exertion vs. %MVC (Maximum Voluntary Contraction). However, when there is no feedback, there is lack of the study on whether the subject can distinguish the subjective rating of the force depending on the target force levels.

**Method:** Total 30 males, healthy subjects are measured the maximum grip strength, MVC, and then, each subject is measured the subjective rating and the accuracy with the random target force level (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, and 90% MVC).

**Results:** In the MVC study, males exerted 256.87N ( $\pm$  51.33). In the subjective rating of grip strength increased for each Target Force Level (9 levels), higher subjective rating evaluated ( $p < 0.05$ ). In accuracy examination between target force level and subjective rating of grip strength by each %MVC, 10, 30, 40, 50, 70, 90% target force levels showed accurate strength ( $p > 0.05$ ). However, at 20% target force level, the subjects evaluated less subjective rating of grip strength than the target force (Underestimation), and at 60% and 80% target force level, the subjects evaluated more subjective rating of grip strength than the target force (Overestimation) ( $p < 0.05$ ).

**Conclusion:** In the experiment, the MVC showed 256.87N ( $\pm$  51.33) for the male adults and as the subjective rating value increased for each Target Force Level (9 levels), higher subjective rating evaluated ( $p < 0.05$ ). Moreover, the results of the accuracy test between target forces and subjective rating of the subjects showed that most participants rated a fairly accurate assessment of subjective rating of grip strength for Target Force Level (9 levels), except for 20%, 60%, and 80%MVC.

**Application:** This experimental result would be used for basic data for the subjective rating of grip strength pattern by the target force level when the voluntary muscle is contracted.

**Keywords:** Subjective rating, Target Force Level, Perceived exertion, Accuracy

## 1. Introduction

전 세계 인구의 2/3는 하루 8시간 이상 직장에서 작업을 수행하며(WHO, 1995), 상대적으로 근골격계 유해 요인 환경에 쉽게 노출되는 산업 노동자들의 경우 낮은 작업 강도임에도 불구하고 반복 작업으로 인한 피로 누적(Kumar, 1990) 및 과도한 힘으로 인한 근골격계 질환이 발생되며 이로 인해 전 세계에서 연간 2억 5천만건의 산업재해가 발생된다고 한다(WHO, 1995). 특히 과도한 힘 발휘에 의해 발생된 근골격계 질환은 48%에 달하며(Statistics Canada, 1991, 1994), 이러한 과도한 힘으로 인해 발생하는 근골격계 질환을 미리 예방하기 위해서는 실제 발휘한 힘에 직접적으로 관련이 있는 주관적 경험(Subjective experience)에 대한 이해가 있어야 한다. 또한, 이와 같이 실제 발휘한 힘에 대해 주관적으로 운동 강도를 평가하는 것을 운동 자각(Perceived exertion)이라고 부른다.

피험자 또는 작업자가 인지한 힘 수준에 대해 평가 또는 힘을 발휘하는 운동 자각(Perceived exertion)의 선행 연구는 실험 방법에 따라 크게 3가지로 나눌 수 있다.

먼저 주관적 평가를 통해 발휘한 힘을 측정하는 것으로 대표적인 방법인 Borg scale이 있다. Borg scale의 경우 물리적 활동에 대한 자기 보고서(Self-report)로서 수십 년 동안 사용되어 온 평가 기법이다(Borg, 1970). Borg scale을 사용하는 연구 방법은 주로 발휘한 힘과 Borg scale과의 관계에 대한 타당성의 연구가 주로 진행되는데, Borg scale 연구 방법은 "Grip to scale" 방법과 "Guided grip" 방법으로 나눌 수 있다. 첫번째 방법은 "Grip-to-scale" 방법으로 실험자는 피험자에게 Borg scale의 등급에 해당하는 Verbal anchor를 제공한 후, 피험자가 인지한 Verbal anchor 수준만큼의 힘을 발휘하여 비교하는 방법이다(Spielholz, 2006). "Grip-to-scale"을 사용한 선행 연구로는 Hampton et al. (2014)과 Li and Yu (2011) 등이 있다. Li and Yu (2011) 연구의 경우, Borg CR-10 scale에 따른 젊은 남성의 Handedness와 자세에 따른 악력에 대해 연구하였는데, Borg CR-10 scale (2, 5, 7)에 해당하는 힘보다 높은 힘을 발휘하는 경향을 보였다.

"Grip to scale" 실험 방법과 정반대의 실험 절차로 진행되는 "Guided grip" 방법의 경우, 실험자는 피험자에게 Target Force (Ex: 30%MVC)를 제공하여 그에 상응하는 힘을 발휘 후, Borg CR-10 scale을 평가하여 비교하는 방법이다(Spielholz, 2006). "Guided grip"을 사용한 선행 연구로는 Borg CR-10 scale을 사용하여 대퇴사두근에 대한 운동 자각에 대한 연구가 있으며(Pincivero et al., 2000, 2003), 선행 연구에서는 Target force 20~90%MVC에 대해 발휘한 힘의 불편도 값이 실제 20~90%MVC에 해당하는 불편도 값과 일치하였으나(Pincivero et al., 2000), 추후 연구에서 Target force 20~60%MVC에서 발휘한 힘의 불편도 값이 실제 20~60%MVC에 해당하는 불편도 값에 비해 과소 평가되었으며(Pincivero et al., 2003), 또한 두 실험 방법간의 오차율 비교의 경우, "Grip to scale" 방법이 "Guided grip"보다 오차율이 더 적다는 연구 결과가 있다(Spielholz, 2006).

두번째 방법으로는, 대측성 사지(Contralateral limb)간의 Matching procedure가 있다(Cafarelli, 1982; Jones and Hunter, 1983; McCloskey et al., 1974). 실험 목적은 대측성 사지간 운동 자각을 통해 동일한 힘을 발휘할 수 있는지에 대한 연구로서, 먼저 Reference limb에서 해당 Target force만큼의 힘을 발휘한 후 Matching limb에서 동일한 힘만큼 힘을 발휘하는 방법이다. 그러나 Matching procedure는 피험자간에 변동이 크다는 연구 결과가 있다(Koppelaar and Wells, 2005; Bao et al., 2009).

세번째 방법으로 실험자가 피험자에게 Target Force(예: 20, 40, 60, 80% MVC)에 해당하는 힘을 발휘하도록 요청하면 피험자는 인지한 만큼의 힘을 발휘하여 Target force과 실제 발휘한 힘의 정확도에 대한 연구이다(Kumar and Simmonds 1994; Kumar et al., 1994b, 1997; Jackson et al., 2006). 선행 연구로 Kumar et al. (1997)는 Pinch, 악력, Lifting의 발휘 힘에 대한 정확도 평가를 수행하였다. Pinch와 악력의 경우, Target Force 40%MVC에서 정확한 힘을 발휘한 것을 제외하고, 20%MVC에서는 Target force에 비해 Overexertion으로 발휘, 60, 80%MVC에서는 Target Force보다 Underestimation으로 발휘하였으며, Lifting에서는 모든 Target Force Level (20, 40, 60, 80%MVCs)에서 Overexertion으로 발휘하였다.

운동 자각의 연구들에 대한 다양한 실험 방법에 따른 선행 연구들을 살펴보면 Borg scale을 사용하여 주관적으로 느끼는 불편도에 비해 피험자가 어떠한 힘을 발휘하였는지, 운동 자각을 통해 대측성 사지간의 발휘 힘 비교, 피험자가 Target Force에 따라 힘을 구별하여 발휘할 수 있는지에 대한 연구는 있으나 발휘한 힘에 대해 피험자가 주관적으로 인지한 힘을 Target Force에 따라 구별할 수 있는지에 대한 연구는 부족하다고 할 수 있다. 특히, 악력의 경우, 다양한 일상 활동 및 일반 업무에서도 악력을 이용하는 수작업이 기본적으로 필요하다(Gurram et al., 1993; Dubrowski and Carnahan, 2004). 그러나 이러한 작업 환경에서 작업자가 과도한 힘을 지속적으로 사용해야 하

는 단순 반복적인 수동 작업을 수행하는 것이 근골격계의 주요 원인이며(Silverstein et al., 1986; Moore and Garg, 1994), 재활 치료 과정에서 발휘한 힘에 대한 주관적 경험이 회복하는데 큰 영향을 미침에도 불구하고(Hampton et al., 2014), 악력의 피로도 및 작업 부하 감소를 위한 연구가 미흡하다.

따라서 본 연구의 목적으로는, 성인 남성을 대상으로 어떠한 피드백도 제공하지 않았을 때, 악력에 대한 Target Force Level (%MVC)과 Target Force Level에 따라 발휘 한 힘에 대한 주관적 평가(%MVC 수준)에 대한 정확도 분석 및 주관적 평가(%MVC)로써 Target Force Level (%MVC)에 따라 발휘한 악력을 구별 할 수 있는지에 대해 분석하고자 한다.

## 2. Method

### 2.1 Participants

실험을 위해 상지 관련 근골격계 질환 경력이 없는 성인 남성 총 30명이 참여하였다. 피실험자의 주력손은 모두 오른손 이었으며, 실험 전, 키, 몸무게, 손 길이, 손 너비, 손 두께의 인체 치수를 측정하였다. 피실험자의 인체 치수 측정 결과는 Table 1과 같다.

**Table 1.** Participants' anthropometric data (Mean  $\pm$  SD)

Gender	Male
Age (yr)	23 $\pm$ 1.2
Height (cm)	175.6 $\pm$ 5.7
Weight (kg)	73.4 $\pm$ 11.3
Hand Length (mm)	185.8 $\pm$ 6.8
Hand Width (mm)	82.1 $\pm$ 3.4
Hand depth (mm)	29.6 $\pm$ 2.8

### 2.2 Experimental design

실험을 위한, 독립변수로 Target Force Level (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90% MVCs)을 선정하였다. 그에 따른 종속변수는 최대 악력 (Maximum Voluntary Contraction: MVC)과 Target Force Level에 해당하는 %MVC 별 주관적 평가(%MVC) 크기, Target Force Level과 해당 %MVC의 주관적 평가(%MVC 수준)의 정확도로 선정하였다.

### 2.3 Apparatus

본 실험에서는, 악력 힘을 정확히 측정하기 위해 Kim and Kong (2008)에 의해 개발된, MFFM (Multi-Finger Force Measurement) system 을 사용하였다(Figure 1, a). 4개의 소형 로드셀은 정확한 측정을 위하여 0kg부터 5kg까지의 분동을 사용하여 Calibration을 수행하였다 ( $R^2 > 0.99$ ).

로드셀의 데이터 분석을 위한 분석 모듈로 컴퓨터 제어·계측 시스템에 많이 사용되는 Labview Program (National Instrument Labview 2012, Austin, Texas)를 사용하였으며, 각 센서들로부터 측정된 손가락들의 출력은 NI DAQmx-6259 장비를 통해 입력되고 분석되었다. 또한, 흰 선은 Target Force, 빨간색은 피험자가 발휘한 실제 악력을 나타내도록 하였다(Figure 1, b). 본 실험에서는 MVC 힘을 Sampling rate 10Hz로 수집하였으며, 최소 3초 이상 일정하게 발휘하는 힘으로 정의하여 최소 30개 이상의 데이터 평균값으로 계산하였다.

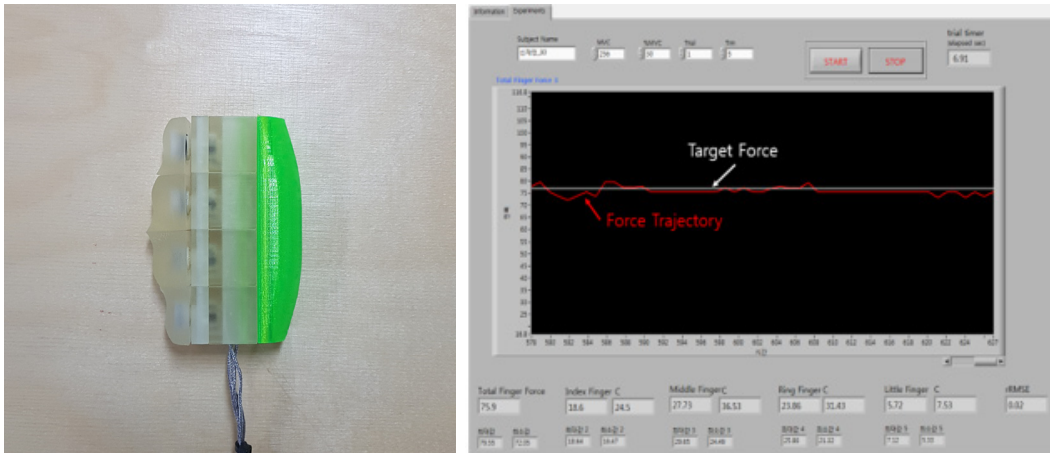


Figure 1. MFFM system (Left) and Labview program (Right, example: male 30% MVC)

### 2.4 Experimental procedure

본 실험에 앞서 피험자들의 인체 치수를 측정하였으며, 실험의 목적과 세부사항, 주의사항 등의 실험 정보를 제공하였다. 본 연구의 실험 자세는 ASHT (American Society of Hand Therapists)에서 제안한 자세를 사용하였다(Figure 2). MVC는 각 피험자 별로 3초 이상 2회 측정 에 대한 평균값으로 구한 후, 9가지 Target Force Level에 대하여 무작위 순서로 수행하였다. 피험자는 화면에 나타나는 Target Force에 해당하는 힘을 3초 이상 발휘한 후, 해당 힘에 대한 주관적 평가(%MVC)를 실험자에게 알려주도록 하였다(실험 진행 시, 피험자가 발휘하 는 힘을 알 수 없도록 화면의 Y축을 가린 상태로 진행하였음). 예를 들어, 피험자는 화면의 중간 부분에 나타나는 Target Force (Figure 1, b) 만큼의 힘을 발휘한 후, 피험자가 인지한 힘에 대해 %MVC 수준으로써 실험자에게 알려준다. 각 Target Force Level당 2회씩 반복하여 총 18회를 수행하였으며, 피험자의 근피로가 실험 결과에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 Trial간 3분의 휴식을 제공하였다.



Figure 2. Experiment posture

## 2.5 Statistical analysis

본 연구의 통계 분석을 위해 SPSS 18.0 (Lead Technologies, Inc., Chicago, USA)을 사용하였다. Target Force Level (%MVC)이 %MVC의 주관적 평가(%MVC 수준)에 미치는 영향을 파악하기 위하여 유의수준  $\alpha=0.05$ 에서 일원분산분석(ANOVA)을 수행하였다. 유의한 효과에 대한 사후 검정으로는 Tukey's Studentized Range (HSD)를 수행하였다. 또한, Target Force Level (%MVC)과 주관적 평가(%MVC 수준)의 정확도를 파악하기 위해 일표본  $t$  검정을 수행하였다.

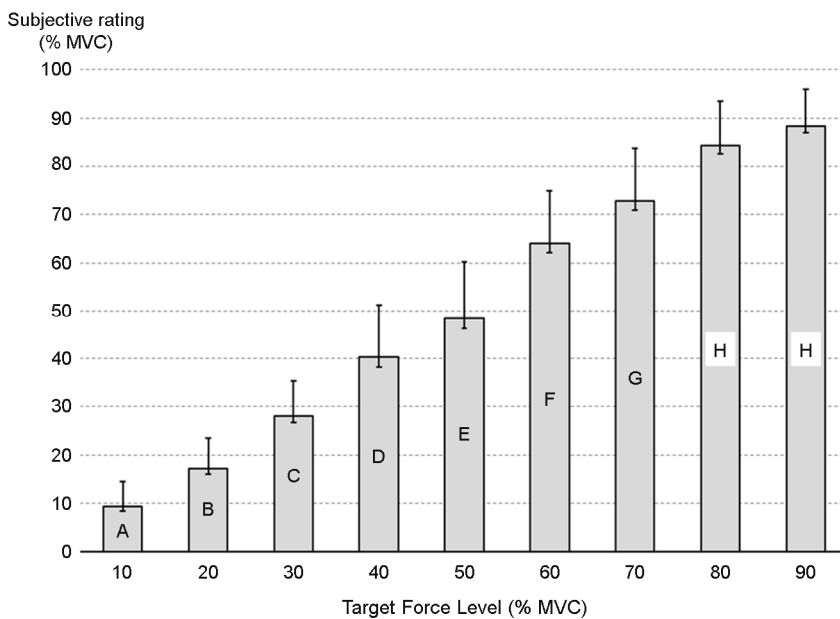
## 3. Results

### 3.1 Maximum grip strength

젊은 남성의 평균 악력 최대 힘은  $256.87 \pm 51N$ 으로 나타났으며, MVC의 최소값은 151.5N, 최대값은 341N으로 발휘하였다.

### 3.2 Subjective ratings (%MVC level) and accuracies for Target Force Level (%MVC)

Target Force Level (%MVC)의 증가에 따른 주관적 평가(%MVC 수준)는 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). Tukey's Studentized Range (HSD) 사후 검정 분석 결과, Target Force Level (%MVC) 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80~90% MVC 순으로 높은 주관적 평가(%MVC 수준)를 나타냈으며( $p < 0.05$ ), 80~90%MVC에서는 유사한 주관적 평가(%MVC 수준)를 나타내었다( $p = 0.743$ ) (Figure 3).



**Figure 3.** Subjective rating of grip strength by %MVC according to Target Force Level (%MVC)

일표본  $t$  검정을 통한 Target Force Level (%MVC)과 주관적 평가(%MVC 수준)의 정확도 검정 결과, 20% Target Force Level에서의 주관적 평가(%MVC 수준)를 Underestimation으로 평가하였으며( $p < 0.05$ ), 60%, 80% Target Force Level에서의 주관적 평가(%MVC 수준)는 Overestimation으로 평가하였다( $p < 0.05$ ). 나머지 Target Force Level (10%, 30%, 40%, 50%, 70%, 90%MVCs)에서는 Target Force 값과 동일한 주관적 평가(%MVC 수준)로 평가하였다(Figure 4).

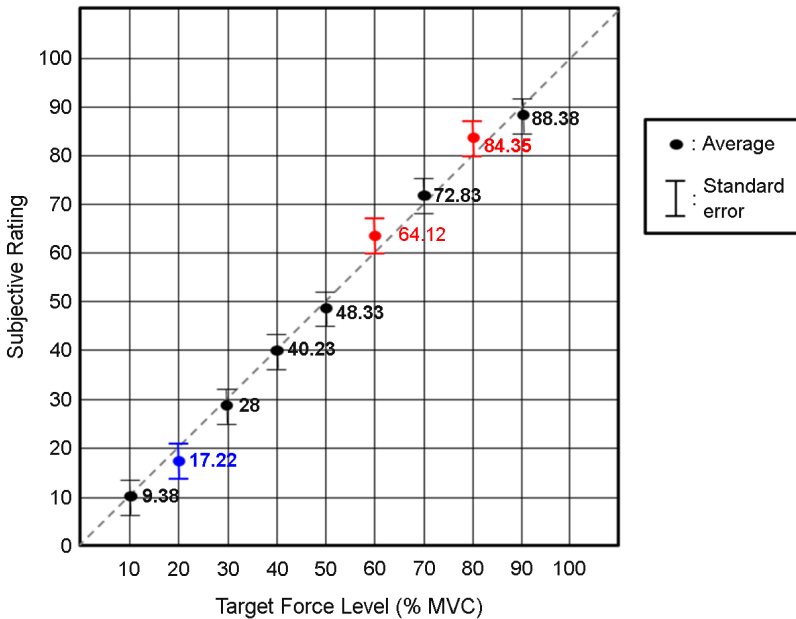


Figure 4. Subjective rating of grip strength for Target Force Level (%MVC)

## 4. Discussion

피험자가 발휘한 악력함에 대해 주관적 평가를 하기 위해, 본 연구에서는 최대 힘(MVC)과 Target Force (%MVC)에 해당하는 주관적 평가를 하였다.

### 4.1 Subjective ratings (%MVC level) depending on Target Force Level

본 연구는 피험자에 대한 MVC 측정 후, 피험자 MVC에 의한 Target Force로부터 악력에 대한 주관적 평가를 하였다. 본 실험 결과에 따르면, 젊은 남성에게 따른 Target Force Level별 주관적 평가는 통계적으로 유의한 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ). 80~90%MVC에서 유사한 평가를 하였으나( $p = 0.743$ ), Target Force Level이 증가함에 따라 %MVC별 주관적 평가(%MVC 수준)가 증가함을 나타냈다. 이는 운동 자각의 대부분의 선행 연구에서 본 실험 결과와 유사한 결과를 나타냈다(Jones, 1989; Pincivero et al., 2003; Li and Yu, 2011; Kumar et al., 1997; Hampton et al., 2014; Jackson et al., 2006). 먼저, Borg CR-10 scale Level을 피험자에게 제시한 후, 해당 Level에 대한 힘을 발휘하는 "Grip to scale" 방법에 대한 선행 연구의 경우, Handedness(주력손, 비주력손), 팔꿈치 굴근 각도와 관계없이 모두 Borg CR-10 scale Level이 증가함에 따라 높은 힘을 발휘 하였다( $p < 0.0001$ ) (Li and Yu, 2011). Matching procedure를 통한 운동 자각 선행 연구에서도 Target Force가 증가함에 따라 Reference contraction과 Matching contraction 모두 증가하였으며(Cafarelli, 1982; Jones and Hunter, 1983; McCloskey et al., 1974), 마지막으로 실험자가 피험자에게 Target Force(예: 20, 40, 60, 80%MVC)에 해당하는 힘을 발휘하도록 요청하면 피험자는 인지한 만큼의 힘을 발휘하여 Target Force과 실제 발휘한 힘의 정확도에 대해 평가하는 선행 연구의 경우에는 Pinch, 악력, Lifting에서 모두 Target Force Level이 증가함에 따라 높은 힘을 발휘하였다. 따라서 대부분의 피험자들은 운동 자각에 대한 연구에서 Target Force에 따라 힘을 구별 및 발휘 할 수 있는 것으로 생각된다.

### 4.2 Accuracies of the subjective ratings (%MVC level) depending on the Target Force Level

본 연구의 Target Force Level (%MVC)과 주관적 평가(%MVC 수준) 정확도의 경우, 20, 60, 80%MVC에 대한 주관적 평가는 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). 나머지 Target Force Level (10%, 30%, 40%, 50%, 70%, 90% MVC)에 대해서는 Target Force Level (%MVC)과



유사한 주관적 평가(%MVC 수준)를 하였다. 낮은 수준인 20%MVC Target Force Level에 대한 주관적 평가(%MVC 수준)는 Underestimation으로 Target Force Level보다 대부분 낮은 평가를 하였으며, 비교적 높은 수준인 60%, 80%MVC Target Force Level에 대한 주관적 평가(%MVC 수준)는 Overestimation으로 Target Force Level보다 대부분 높은 평가를 하였다. 따라서 Target Force Level과 주관적 평가(%MVC 수준)의 경우, 비교적 상당히 높은 정확도를 나타냈다. 이는 기존 운동 자각에 대한 선행 연구들과는 다른 연구 결과를 나타냈다.

먼저, Borg CR-10 scale Level을 피험자에게 제시한 후, 해당 Level에 대한 힘을 발휘하는 "Grip to scale" 방법을 악력에 대해 수행한 연구의 경우, Target Force Level (Borg CR-10: 2, 4, 6, 8)에서 실제 Borg CR-10 scale의 2~8에 해당하는 힘(20~80%MVC) 보다 높은 힘을 발휘하였으며, Target Force Level (%MVC)를 발휘한 후, 발휘한 힘에 대한 Borg CR-10 scale Level을 평가하는 "Guided grip" 방법을 사용하여 대퇴사두근에 대한 연구를 수행한 선행 연구의 경우, Target Force Level 20~60%MVC에서 실제 20~60%MVC에 해당하는 Borg CR-10 scale의 2~6에 비해 과소 평가(Underestimation) 하였다(Pincivero et al., 2003). 따라서, Target Force Level (%MVC)에 따른 주관적 평가(%MVC 수준)의 정확도가 비교적 높음에도 불구하고 발휘한 힘과 Borg CR-10 scale에 대한 연구에서 비교적 낮은 정확도를 나타내는 것으로 보아, Borg CR-10 scale에 대해 Calibration이 필요할 것으로 생각된다.

실험자가 피험자에게 Target Force Level(예: 20, 40, 60, 80%MVC)에 해당하는 악력을 발휘하도록 요청하면 피험자는 인지한 만큼의 힘을 발휘하여 Target Force Level과 실제 발휘한 악력의 정확도를 평가하는 선행 연구의 경우, Target Force 20%MVC의 Peak값에서는 Target Force Level보다 높은 힘을 발휘 발휘하였으며(Overexertion), Target Force 60, 80%MVC의 Average 값에서는 Target Force Level보다 낮은 힘을 발휘하였다(Underestimation). 반면에 본 연구에서는 20%MVC의 경우, Target Force Level보다 과소 평가(Underestimation)하였으며, 60, 80%MVC에서는 Target Force Level보다 과대 평가(Overestimation)하였는데, 이는 Target Force Level에 따라 운동 자각(Perceived exertion)의 강도가 다르다는 것을 알 수 있다. 예를 들어 Target Force Level 20%MVC의 경우, 본 연구에서는 힘을 발휘한 후 대부분의 피험자가 Target Force 20%MVC보다 낮게 평가하였으나, 선행 연구에서는 '20%MVC를 발휘하라'는 요청사항에 대해 20%MVC보다 더 높은 힘을 발휘하였다(Kumar et al., 1997). 즉, 20%MVC보다 더 높은 Target Force를 제시하면 피험자가 20%MVC라고 평가할 것이며, 실험자는 피험자에게 Target Force 20%MVC보다 낮은 수준을 발휘하도록 요청해야만 20%MVC 힘으로 발휘할 것으로 생각된다. 반면에, Target Force 60, 80%MVC의 경우, 본 연구에서는 힘을 발휘한 후 대부분의 피험자가 Target Force 60, 80%MVC보다 높게 평가하였으나, 선행 연구에서는 '60, 80% MVC를 발휘하라'는 요청사항에 대해 60, 80%MVC보다 더 낮은 힘을 발휘하였다(Kumar et al., 1997). 이는 낮은 수준의 20%MVC Target Force와 달리 60, 80%MVC보다 더 낮은 Target Force를 제시하면 피험자가 60, 80%MVC라고 평가할 것이며, Target Force 60, 80%MVC보다 더 높은 Target Force를 요청해야만 60, 80%MVC 힘으로 발휘할 것이라고 생각된다. 따라서, 낮은 수준의 Target Force에서는 실제 발휘한 힘보다 낮은 힘으로 인지하며, 높은 수준의 Target Force에서는 실제 발휘한 힘보다 높은 힘으로 인지한다는 것을 알 수 있다.

## 5. Conclusions

본 연구에서는 젊은 남성에게 최대 악력(MVC)을 측정하고, Target Force Level (%MVC)에 따른 주관적 평가를 비교 분석하였다. 연구 결과, 젊은 남성은  $256.87 \pm 51\text{N}$ 으로 발휘하였으며, Target Force Level (%MVC)의 증가에 따른 주관적 평가는 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). Target Force Level (%MVC) 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80~90%MVC 순으로 주관적 평가(%MVC 수준)를 하였으며( $p < 0.05$ ), 80~90%MVC에서는 유사한 주관적 평가(%MVC 수준)를 하였다. 또한 Target Force Level에 대한 주관적 평가(%MVC 수준)의 정확도 검증 결과, 20%MVC에서 과소 평가(Underestimate), 60, 80%MVC에서 과대 평가(Overestimate)한 것을 제외하고 나머지 Target Force Level (10, 30, 40, 50, 70, 90%MVC)에서는 주관적 평가(%MVC 수준)와 Target Force 값이 일치하였다. Target Force Level에 따른 주관적 평가(%MVC 수준)에 대한 패턴을 통해, 제조업 및 일상 생활에서 과도하게 악력을 사용하는 작업으로 인한 근골격계 질환 예방 및 악력의 작업 부하 감소를 위한 인간공학적 가이드 라인을 도출하는데 기초 자료가 될 것으로 기대된다. 추후 연구에서는 성별에 따라 Target Force Level에 대한 주관적 평가가 어떠한 패턴을 나타내는지에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## Acknowledgements

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (NRF-2016R1D1A1A09918189).

## References

- Bao, S., Spielholz, P., Howard, N. and Silverstein, B., Force measurement in field ergonomic research and application, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(2), 333-340, 2009.
- Borg, G., Perceived exertion as an indicator of somatic stress, *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 2(2), 92, 1970.
- Cafarelli, E., Peripheral contributions to the perception of effort, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 382-389, 1982.
- Dubrowski, A. and Carnahan, H., Grip force when grip moving cylinders, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 34(2), 69-76, 2004.
- Gurram, R., Gouw, G.J. and Rakheja, S., Grip pressure distribution under static and dynamic loading, *Experimental Mechanics*, 33(3), 169-173, 1993.
- Hampton, S., Armstrong, G., Ayyar, M.S. and Li, S., Quantification of perceived exertion during isometric force production with the borg scale in healthy individuals and patients with chronic stroke, *Topics in Stroke Rehabilitation*, 21(1), 33-39, 2014.
- Jackson, A.W., Ludtke, A.W., Martin, S.B., Koziris, L.P. and Dishman, R.K., Perceived submaximal force production in young adults, *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 77(1), 50-57, 2006.
- Jones, L.A. and Hunter, I.W., Perceived force in fatiguing isometric contractions, *Perception & Psychophysics*, 33(4), 369-374, 1983.
- Jones, L.A., Matching forces: constant errors and differential thresholds, *Perception*, 18(5), 681-687, 1989.
- Kim, D.M. and Kong, Y.K., Research of grip forces and subjective preferences for various individual finger grip spans by using an "adjustable Multi-Finger Force Measurement (MFFM) system", *Journal of the ergonomics society of Korea*, 27(3), 1-6, 2008.
- Koppelaar, E. and Wells, R., Comparison of measurement methods for quantifying hand force, *Ergonomics*, 48(8), 983-1007, 2005.
- Kumar, S., Cumulative load as a risk factor for low back pain, *Spin*, 15(12), 1311-1316, 1990.
- Kumar, S. and Simmonds, M., The accuracy of magnitude production of submaximal precision and power grips and gross motor efforts, *Ergonomics*, 37(8), 1345-1353, 1994(a).
- Kumar, S., Simmonds, M. and Lechelt, D., Maximal and graded effort perception by young females in stoop lifting, hand grip and finger pinch activity with comparisons to males, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 13(3), 3-13, 1994(b).
- Kumar, S., Narayan, Y. and Chouinard, K., Effort reproduction accuracy in pinching, gripping, and lifting among industrial males, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20(2), 109-119, 1997.
- Li, K.W. and Yu, R., Assessment of grip force and subjective hand force exertion under handedness and postural conditions, *Applied Ergonomics*, 42(6), 929-933, 2011.



McCloskey, D.I., Ebeling, P. and Goodwin, G.M., Estimation of weights and tensions and apparent involvement of a "sense of effort", *Experimental Neurology*, 42(1), 220-232, 1974.

Moore, J.S. and Garg, A., Upper extremity disorders in a pork plant: relationship between task factors and morbidity, *American Industrial Hygiene Association*, 55(8), 703-715, 1994.

Spielholz, P., Calibrating borg scale ratings of hand force exertion, *Applied Ergonomics*, 37(5), 615-618, 2006.

Silverstein, B.A., Fine, L.J. and Armstrong, T.J., Hand wrist cumulative trauma disorders in industry, *Occupational and Environmental Medicine*, 43(11), 779-784, 1986.

Statistics Canada., Work injuries Department of supply and services, Statistics Canada, Ottawa, 1991.

Statistics Canada., Work injuries Department of supply and services, Statistics Canada, Ottawa, 1994.

Pincivero, D.M., Coelho, A.J. and Erikson, W.H., Perceived exertion during isometric quadriceps contraction: a comparison between men and women, *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40(4), 319-326, 2000.

Pincivero, D.M., Coelho, A.J. and Campy, R.M., Perceived exertion and maximal quadriceps femoris muscle strength during dynamic knee extension exercise in young adult males and females, *European Journal of Applied Physiology*, 89(2), 150-156, 2003.

WHO., Global strategy on occupational health for all, WHO, Geneva, 1995.

## Author listings

**Yong-Ku Kong:** ykong@skku.edu

**Highest degree:** Ph.D., Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Pennsylvania State University

**Position title:** Professor, Department of Systems Management Engineering

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

**Donghyun Park:** pp0825@naver.com

**Highest degree:** Ph.D., Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Pennsylvania State University

**Position title:** Professor, Department of Industrial Engineering

**Areas of interest:** Physical Ergonomics, WMSDs

**Kyeong-Hee Choi:** kyunghe7@naver.com

**Highest degree:** M.S., Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University

**Position title:** Ph.D., Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University

**Areas of interest:** Physical Ergonomics, Hand Functionality, Rehabilitation

**Jae-Min Shin:** woals8812@gmail.com

**Highest degree:** B.S., Department of Systems Management Engineering, Sungkyunkwan University

**Position title:** M.S., Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University

**Areas of interest:** Physical Ergonomics, WMSDs, Occupational Safety and Health

**Juhee Lee:** heyj\_hee@naver.com

**Highest degree:** B.S., Department of Civil, Safety and Environmental Engineering, Hankyong National University

**Position title:** M.S., Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University

**Areas of interest:** Physical Ergonomics, WMSDs, Occupational Safety and Health

**Jun-Hyub Lee:** ybyb1@naver.com

**Highest degree:** B.S., Department of Industrial Management Engineering, Namseoul University

**Position title:** M.S., Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University

**Areas of interest:** Physical Ergonomics, WMSDs, Perceived exertion