

# A Study for the Effects of Various Force Exertion Levels on Mechanical Properties of Flexor Digitorum Superficialis using MyotonPRO System

Jae-Min Shin<sup>1</sup>, Yong-Ku Kong<sup>2</sup>, Ju-Hee Lee<sup>2</sup>, Hyun-Ho Shim<sup>2</sup>, Jae-Kyeong Kim<sup>2</sup>,  
Min-Uk Cho<sup>2</sup>, Chae-Won Park<sup>2</sup>, Kyeong-Hee Choi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SEED tech, Technical sales, Bucheon, 14523

<sup>2</sup>Sungkyunkwan University, Department of Industrial Engineering, Suwon, 16419

## MyotonPRO 시스템을 이용한 여러 근 수축 수준이 천지굴근의 기계적 속성에 미치는 영향 연구

신재민<sup>1</sup>, 공용구<sup>2</sup>, 이주희<sup>2</sup>, 심현호<sup>2</sup>, 김재경<sup>2</sup>, 조민욱<sup>2</sup>, 박채원<sup>2</sup>, 최경희<sup>2</sup>

<sup>1</sup>시드테크 기술영업 부서

<sup>2</sup>성균관대학교 산업공학과

### Corresponding Author

Kyeong-Hee Choi  
Sungkyunkwan University, Department of  
Industrial Engineering, Suwon, 16419  
Mobile: +82-10-4596-9850  
Email: kyungh7@naver.com

Received: March 29, 2019

Revised: April 05, 2019

Accepted: June 18, 2019

Copyright©2019 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 study were to understand the effects of various levels of force exertions on the mechanical properties of hand muscles and to evaluate the correlation between the changes of mechanical properties and muscle fatigue.

**Background:** Understanding mechanical properties of human muscles for any types of activities is very important to prevent muscle damages and injuries. Although electromyography (EMG) has been widely used to investigate the muscle activity and fatigue for human movements, EMG system may need a lot of effort and time to install, measure, and analysis. MyotonPRO which is a very simple and fast measurement device has been developed to understand muscle's mechanical properties for various activities. There is few study for investigation of the mechanical properties such as stiffness, frequency, and decrement using a MyotonPRO.

**Method:** Twenty healthy young men without orthopedics diseases participated in this study. The mechanical properties (stiffness, frequency, and decrement) of flexor digitorum superficialis were measured by using the MyotonPRO system for various muscle contraction (20%, 40%, 60%, and 80% MVCs) levels. The mechanical properties in resting condition was also measured before and after to understand the fatigue effects. Gender, handedness, pre/post and four-contraction level were assigned as independent variables in this study.

**Results:** Statistical analysis revealed that the effects of gender, force exertion level, and interaction of gender and force exertion level were statistically significant on the both *stiffness* and *frequency* of mechanical properties of the flexor digitorum superficialis. *Stiffness* and *frequency* also showed generally increased as muscle fatigued based on the study of pre/post analysis.

**Conclusion:** Stiffness and frequency, mechanical properties of flexor digitorum superficialis, showed a positive correlation with gender and force exertion level using a MyotonPRO system. These mechanical properties were also related with muscle fatigue.

**Application:** MyotonPRO would be a good method for evaluating muscle activities of the muscles according to the levels of muscle contractions.

**Keywords:** Mechanical property, Stiffness, Frequency, Decrement, Force exertion level

## 1. Introduction

근육은 일상 생활이나 운동을 하면서 다양한 수준의 수축과 이완을 반복하고 있다. 따라서 다양한 근 수축 수준에 따른 근육의 상태를 정확히 평가하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다. 근육의 상태를 나타내는 용어로, 근육의 기계적 속성(Mechanical properties)에는 강성(Stiffness), 근긴장도(Frequency), 그리고 탄성(Decrement) 등이 있다(Kim et al., 2016). 강성(Stiffness)이란 외부 힘이나 근 수축에 의해 근육의 섬유 조직이 전위(Displacement)를 일으키는데 요구되는 강도로 정의되며, 높을수록 외부 힘이나 수축에 대한 저항력이 크다는 것을 의미한다. 근 긴장도(Frequency)란 근 수축이 없는 안정된 상태에서 수동적으로 신장했을 시 나타나는 근육의 긴장 정도로 정의되며(Kim and Kim, 2016). 정상적인 사람이 편안하게 이완하고 있는 상태에서도 일정 수준으로 존재하고(Kim et al., 2003), 비정상적으로 높은 값을 가질 경우에는 근육이 심하게 뻣뻣해지는 증상을 보인다. 탄성(Decrement)이란 근 수축이나 변형 이후, 근육이 원래 모양으로 돌아가는 정도로 정의된다. 고무공을 땅에 세게 던질수록 튀어 오르는 높이가 커지는 것과 마찬가지로 정상적인 근육에서, 가해지는 자극이 클수록, 근 탄성 또한 커지게 된다.

이와 같은 근육의 기계적 속성을 측정할 수 있는 장비로는 크게 표면 근전도(Surface electromyography)와 초음파(Ultrasound) 장비, 그리고 접촉식 연부조직 측정 기기인 Myoton 등이 있다. 근전도는 근 활성화라는 전기적 신호를 가지고 근육의 상태를 측정하기 때문에 근육이 수축하거나 활성화 중일 때는 근육의 상태를 측정하기 용이하지만, 반대로 이완상태에서는 근 활성화도의 신호가 매우 낮아서 근육의 상태를 측정하기가 어렵다. 초음파 장비 또한 매우 정확한 측정을 보장하고, 수축 및 이완 모두 측정이 가능하지만, 장비 자체가 매우 고가이며 완전히 다루고 익히는데 시간이 다소 소요되는 단점이 있다. 이에 반해, Myoton은 휴대가 용이하며, 빠르고 쉽게 근육의 기계적 속성에 대한 정량적 데이터들을 얻을 수 있는 장점이 있다. 또한, Myoton의 측정값은 기존의 표면 근전도를 통해 산출된 근 활성화 패턴과 깊게 연관되며(Korhonen et al., 2005), 건강한 성인(Ditroilo et al., 2011; Schneider et al., 2015)뿐만 아니라 파킨슨병(Marusiak et al., 2011)이나 뇌졸중 환자(Fröhlich-Zwahlen et al., 2014)에게서도 측정값의 신뢰성이 검사자에 상관없이 높게 보고되었다.

이미 알려진 바와 같이, 우리 몸의 골격근이 근 수축작용을 통해 힘을 발휘할 때 관여하는 것이 바로 액틴(actin)과 마이오신(myosin)이며, 이 둘 간의 근 수축 기전(활주 가설)을 통하여 근육은 실제로 수축하며, 힘을 발휘할 수 있게 된다. 이러한 근 수축과 관련하여, 근육의 생체역학적 속성 지표 중 하나인 강성(stiffness)은 심한 근 수축 또는 외부적 요인으로 인한 근 섬유의 손상을 방지하고, 근력과 몸의 움직임에 핵심적인 역할을 수행하고 있어, 강성의 증가는 근력의 증가를 반영할 뿐만 아니라 더 나아가 운동 수행력의 향상과도 밀접한 관련이 있다(Pruyn et al., 2014). 또한, 강성은 근육과 건, 그리고 관절에 있어서도 충격을 흡수하는 기능에 중요한 역할을 수행하고 있어(Watsford et al., 2010) 매우 높거나 매우 낮은 강성은 근 골격 손상의 위험을 증가시킨다고 알려졌다(Butler et al., 2003).

근 피로(Muscle fatigue)란 근육의 힘이나 성능이 원래의 수준만큼 미치지 못하는 상태를 의미한다(Asmussen and Mazin, 1978). 즉, 근육이 피로해지면, 근육이 낼 수 있는 최대 수축력이 감소하게 되고(Viitasalo and Komi, 1981), 스포츠 활동에서 근 피로가 발생하게 되면 근 골격의 손상 위험이 높아지게 된다(Meyers et al., 2007; Orlando et al., 2011; Liederbach et al., 2013). 특히, 강성(Stiffness) 및 긴장도(Frequency)는 근 피로와 밀접한 관련이 있으며, 일반적으로 근육이 피로해질수록 강성 및 긴장도 모두 증가하게 된다고 보고된 바 있다(Roja et al., 2006; Wang et al., 2017).

근 속성은 발휘하는 힘과도 높은 상관관계를 지닌다. Kelly et al. (2018)은 척추 기립근과 장딴지 근의 Stiffness는 발휘하는 힘의 수준과 양의 상관관계가 있다고 보고하였다. Jarocka et al. (2011)는 상완요골의 Stiffness와 frequency는 발휘하는 힘의 수준과 양의 상관관계가 있으나 Decrement는 특별한 상관관계가 없다고 보고하였다. Komiya et al. (2000) 역시도 지신근의 Stiffness가 발휘하는 악력의 수준과 강한 양의 상관을 보인다고 보고하였다. 그러나 이러한 상관관계는 근육의 종류나 특징에 따라 상이할 수 있으며(Jarocka et al.,

2011), 대부분의 연구가 Stiffness와 Frequency에 초점을 맞춰서 진행되었다는 한계점을 지닌다.

지금까지의 진행된 근 수축과 근 속성과의 관계에 대한 연구 및 근 피로에 따른 근 속성의 변화에 대한 연구들 대부분은 근전도 또는 초음파 장비를 이용하였으며, 세 가지 근 속성 모두를 측정한 연구는 국내외적으로 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구의 목적은 비침습적 연부조직 측정 기기인 MyotonPRO를 이용하여 (1) 근 수축의 4가지 악력 힘 수준(20%, 40%, 60%, 그리고 80%MVC)에 따른 근육의 기계적 속성(강성, 긴장도, 탄성)의 변화를 분석하고, (2) 악력 Task 전과 후의 근 속성들과 근육의 피로(fatigue)와의 관계를 연구하고자 한다.

## 2. Methods

### 2.1 Participants

본 연구의 대상자는 경기도 소재 대학교에 재학중인 건강한 성인 남성 20명을 대상으로 하였으며, 근골격계의 질환 병력이 없는 사람을 대상으로 하였다. 실험에 참가한 피실험자들의 신체적 특성은 아래의 Table 1과 같다. 신체 특성은 버니어 캘리퍼스(CD-20APX, Mitutoyo, Japan)와 신장계(GL-150P, G-tech, Korea)를 이용하여 측정하였다.

**Table 1.** Participants' anthropometric data (mean ± SD)

Age (yr.)	Height (cm)	Weight (kg)	Hand length (cm)	Hand width (cm)	Hand depth (cm)
22.56±3.11	174.07±5.55	64.75±17.86	18.64±0.68	8.34±0.48	3.13±0.20

### 2.2 Measurement system

본 연구에서는 천지굴근(Flexor Digitorum Superficialis, FDS)의 기계적 속성을 측정하기 위해 접촉식 연부조직 측정 기기인 MyotonPRO (MyotonAS, Estonia)를 이용하였다. MyotonPRO 시스템의 작은 원기둥 모양의 Probe (polycarbonate probe, 3mm)는 0.18N으로 피부 표면에 접촉한 후 15ms 동안 0.40N의 힘으로 피부 표면을 자극을 가하게 되는데, 이때 발생하는 근육의 진동과 가속도를 기반으로 근육



**Figure 1.** MyotonPRO measurement and supporter for measuring muscle properties

의 특성을 나타내는 강성(Stiffness), 근긴장도(Frequency), 그리고 탄성(Decrement) 등 3가지 생체역학적 지표를 측정한다. 측정 시, 항상 Probe는 측정부위의 근육(Muscle belly) 중앙(부위와 수직이 되도록 측정하였으며, 모든 측정은 멀티스캔 모드를 이용하여 Tap 반복 횟수를 3회, 기계적 임펄스 전달 시간(Tap time)은 15ms, 전달 간격은 0.8초로 설정하였다(Kim and Kim, 2016). 또한, 측정 시 MyotonPRO의 떨림으로 인한 측정 실패를 방지하기 위하여, MyotonPRO 지지대를 자체 제작하여 본 연구에 사용하였다(Figure 1).

악력을 측정하기 위해 Kim and Kong (2008)이 개발한 MFFM (Multi Finger Force Measurement) system (Figure 2, left)을 사용하였다. 4개의 초소형 로드셀(Honeywell International Inc., Model 13)이 내장되어 있는 MFFM system은 악력 발휘 시 전체 힘뿐만 아니라, 손가락별 힘까지 측정 가능하도록 제작되었다. MFFM system의 Software program은 LabVIEW 8.5를 사용하여 개발되었으며, 가운데 흰색 선은 목표 힘을 나타내며, 노란색 선은 피실험자가 발휘한 실제 악력이 표시된다(Figure 2, right).

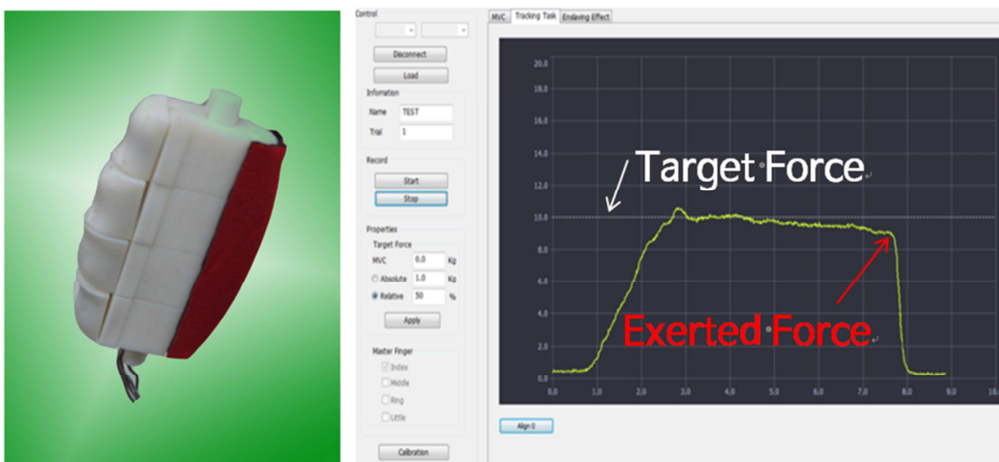


Figure 2. MFFM system (left) and software program (right)

### 2.3 Experimental procedure

본 실험에 들어가기 앞서, 피험자들의 기본적인 인체 치수를 측정한 후, 실험의 목적, 방법, 그리고 주의사항 등의 실험 정보를 제공하였다. 실험 자세는 미국 손 치료사협회(American Society of Hand Therapists, ASHT)의 제안에 따라 의자에 앉은 상태에서 팔꿈치는 90°로 굴곡, 그리고 전완 및 손목은 중립을 유지하였다. 허리는 곧게 편 상태에서 시선은 정면을 보는 자세를 취하도록 하였다(Figure 3). 피험자의 주력/비주력손 판별을 위하여 Edinburgh handedness inventory를 사용하였다(Oldfield, 1971).

측정 근육으로는 전완근 중 악력 발휘에 가장 크게 기여하는 근육 중 하나인 천지굴근(Flexor Digitorum Superficialis, FDS)을 선정하였다(Yang et al., 2006). 측정 부위를 통일하기 위하여 천지굴근에 인체용 마커로 표시한 후, 실험 전/후의 근 속성을 MyotonPRO로 측정하였다. 최대 악력(Maximum Voluntary Contraction, MVC)을 측정하기 위해 6초씩 2회의 최대 악력 Task를 수행하였으며(Kong et al., 2014), 중간 4초의 평균값을 최대 악력으로 사용하였다. 측정 시, 검사자의 측정 오류를 최소화하기 위하여 피험자의 팔꿈치를 밴드로 고정하였고 자체 개발한 Myoton 지지대를 이용하여 측정자의 손 떨림을 최소화하였다. 각 피험자 별로 측정된 최대 악력(MVC)을 기준으로 4가지 수준의 % MVC(20%, 40%, 60%, 그리고 80% MVC)를 선정하여, 각각 2회씩 임의의 순서로 발휘하도록 하였다. 악력을 발휘할 때에 모니터의 화면 중앙에 흰색 선으로 Target force를 표시하였으며, 피험자가 최대한 정확하게 Target force를 발휘할 수 있도록 지시하였다. 피험자가 해당 힘을 발휘하는 동안 실험자는 MyotonPRO를 활용하여 근 속성을 측정하였다. 측정 간에는 각각 3분의 휴식시간을 제공하였다.



Figure 3. Experimental posture

### 2.4 Data analysis

성별과 주력손/비주력손에 따른 최대 악력의 차이를 분석하기 위하여 일원분산 분석을 수행하였다. 발휘하는 악력의 수준(% MVC), 성별, 주력/비주력손, Task 전/후에 따른 근 속성(강성, 긴장도, 탄성)의 변화를 측정하기 위하여 MANOVA 분석을 수행하였으며, 각 항목별 평균과 표준오차를 산출하였다(Table 2). 모든 통계 분석은 SPSS Statistics 18.0 (Statistical Package for the Social Sciences software, versions 18.0, SPSS Inc, Chicago, Illinois, USA) 프로그램을 이용하여 수행하였으며, 모든 통계적 유의수준  $\alpha < 0.05$ 로 설정하였다.

Table 2. Experimental variables

One-way ANOVA		MANOVA	
Independent variables	Dependent variables	Independent variables	Dependent variables
Gender Handedness	Maximum grip strength	Gender Handedness Level of grip force (%MVC) Pre/post of task	Stiffness Frequency Decrement

## 3. Results

### 3.1 Maximum grip strength

성별과 주력/비주력손 간의 최대 악력은 통계적으로 유의한 것으로 나타났으며( $p < 0.05$ ), 둘 간의 교호작용은 통계적으로 유의하지 않았다( $p = 0.971$ ). 여성의 경우, 평균 최대 악력은 153.1N으로 남성의 평균 최대 악력 277.5N의 약 55.2%에 해당하는 결과를 보였으며, 주력손의 경우 최대 악력( $217.4 \pm 73.9$ N)은 비주력손의 최대 악력( $202.7 \pm 75.7$ N)보다 약 6.8% 더 큰 힘을 발휘하였다.

### 3.2 Stiffness

강성에 대한 분석결과에서는 성별과 근 수축 수준의 주효과, 그리고 성별과 근 수축 수준의 교호작용은 통계적으로 유의한 결과를 보였다(all  $p < 0.05$ ). 남성의 경우 평균 281.8N/m의 강성을 보인 반면, 여성의 경우 평균 222.5N/m로 남성은 여성보다 약 26.7% 높은

강성을 보였다. 근 수축 수준에 따른 강성의 경우, 둘 간의 뚜렷한 양의 상관관계를 확인할 수 있었다. Resting의 경우 가장 낮은 강성(207.6N/m)을 나타냈고, 강성은 점차 증가하여 20%, 40%, 그리고 60%MVC 수준에서 각각 235.9N/m, 250.4N/m, 그리고 268.4N/m를 보였다. 가장 큰 힘을 발휘하는 80%MVC 수준에서 역시 통계적으로 유의하게 가장 큰 강성(298.4N/m)을 보였다. 교호작용으로는 남성과 여성 모두 발휘 힘이 증가함에 따라 증가하는 경향을 함께 보였으나, 높은 힘 수준인 60~80%MVCs에서 남성의 강성 증가율이 여성의 증가율보다 다소 높은 경향을 보였다(Table 3).

**Table 3.** Stiffness associated with gender and levels of MVCs

(unit: N/m)

	Resting	20%	40%	60%	80%	Mean
Male	228.3	257.5	276.5	302.5	344.3	281.8
Female	187.2	214.3	244.3	234.4	252.5	222.5
Mean	207.6 <sup>A</sup>	235.9 <sup>B</sup>	250.4 <sup>BC</sup>	268.4 <sup>C</sup>	298.4 <sup>D</sup>	

### 3.3 Frequency

긴장도에 대한 분석결과는 강성의 분석과 유사하게, 성별과 근 수축 수준의 주효과와 성별과 근 수축 수준의 교호작용이 통계적으로 유의한 결과를 보였다(all  $p < 0.05$ ). MFFM system을 이용하여 여러 수준 별 힘을 측정한 남성의 평균 긴장도(Frequency)는 15.9Hz로 여성의 13.4Hz보다 약 18% 정도 높았다. 근 수축에 따른 긴장도 역시 근 수축의 수준이 높아질수록 긴장도의 수준도 함께 증가하였다(Table 4). 성별과 근 수축의 수준과의 교호작용에서는, 여성의 경우, 근 수축의 수준이 증가함에 따라, 긴장도가 완만하게 증가하는 반면, 남성의 경우, 긴장도의 증가가 60~80%MVCs 수준에서 증가율이 낮은 수준의 근 수축 범위보다 상대적으로 가파른 증가세를 보였다. 이는 Section 3.2의 강성(Stiffness)과도 유사한 경향이였다.

**Table 4.** Frequency associated with gender and levels of MVCs

(unit: Hz)

	Resting	20%	40%	60%	80%	Mean
Male	14.5	15.3	15.5	16.4	17.4	15.9
Female	12.7	13.3	13.5	13.8	13.9	13.4
Mean	13.6 <sup>A</sup>	14.3 <sup>AB</sup>	14.6 <sup>BC</sup>	15.1 <sup>CD</sup>	15.6 <sup>D</sup>	

### 3.4 Decrement

탄성에 대한 분석결과는 모든 주효과와 교호작용에 대해서 통계적으로 유의하지 않았다(all  $p > 0.05$ ).

### 3.5 Muscle fatigue

본 연구에서는 Task 전과 후, 각각 휴식상태에서 근 속성을 측정하여, 피로도가 근 속성에 미치는 영향을 분석하였다. 그 결과, Task 후 강성(Stiffness, 239.7N/m)은 task 전의 강성(231.4N/m)보다 통계적으로 매우 유의한 증가 경향을 보였다( $p=0.039$ , Table 5).

통계적으로 유의하지는 않았지만 근 긴장도(Frequency) 역시 task 후 15.0Hz의 긴장도가 task 전(14.7Hz)보다 큰 경향을 보였다( $p=0.055$ ). 이는 강성과 긴장도 모두 근 피로와 밀접한 관련이 있고, 근육이 피로해질수록 증가한다는 Roja et al. (2006)과 Wang et al. (2017)의 연구결과와 유사한 결과라고 할 수 있다.



**Table 5.** Stiffness and frequency for pre/post tasks

	Stiffness (N/m)	Frequency (Hz)
Pre	231.4±41.9	14.7±1.5
Post	239.7±45.8	15.0±1.7

#### 4. Discussion

본 연구는 상지 근골격계 질환이 없는 건강한 성인 남성 20명을 대상으로 천지굴근의 기계적 속성과 다양한 근 수축 수준 간의 관련성에 대한 연구를 수행하였다. 연구결과, 피험자들의 상대적 힘 발휘 수준을 의미하는 근 수축 수준은 천지굴근의 기계적 속성 중 강성(Stiffness) 및 긴장도(Frequency)와 양의 상관관계를 나타내었으며, 피로에 따라 강성과 긴장도 모두 함께 증가하는 경향을 보였다.

최대 악력의 경우, 여성의 최대 악력(153.1N)은 남성 최대 악력(277.5N)의 약 55.2%의 힘을 보였다. 이는 기존 성별에 따른 악력의 연구들(51~70%)과 유사한 결과를 보였다(Pheasant and Scriven, 1983; Härkönen et al., 1993; Talsania and Kozin, 1998; Liao, 2014; Kong and Kim, 2015).

주력손과 비주력손과의 악력차이에 대한 기존연구를 보면, Petersen et al. (1989)와 Nicolay and Walker (2005)의 경우 주력손이 비주력손에 비해 약 10% 정도 높은 악력을 나타낸다고 발표한 반면, Cetinus et al. (2005)의 경우 주력손과 비주력손의 차이는 약 4.5% 내외라고 발표하였으며, Park et al. (2006)은 휠체어 테니스 선수와 척수 손상인의 악력 분석에서 주력손과 비주력손의 차이가 없다고 발표하였다. 또한, Lee et al. (1995)는 여러 연령대별 주력손과 비주력손의 악력을 분석한 결과, 연령에 따라 그 차이가 달라진다고 하였다. 이와 같은 다양한 결과를 통해 Schmidt and Toews (1970)은 주력손과 비주력손의 차이는 연령 및 성별에 따라 다양하므로, 10% rule의 적용하는 것에 대한 주의를 언급하였다. 본 연구에서는 주력손과 비주력손과의 악력차이는 약 6.8%의 결과를 보였다.

Myoton에서 강성(Stiffness)은 근 수축이나 외력에 대한 저항력을 나타내며, 긴장도(Frequency)는 근육의 긴장 정도를 나타낸다(Schneider et al., 2015). Myoton을 이용하여 전완근의 등척성 수축과 근 속성을 비교한 연구뿐만 아니라 초음파 장비를 이용한 여러 연구에서 근 수축 수준과 강성이 양의 상관관계를 나타내는 것이 확인되었다. 본 연구에서도 Myoton의 강성(Stiffness) 및 긴장도(Frequency)가 근 수축 수준이 증가함에 따라 함께 증가하는 관계를 보이는 것이 확인되었다. 실제로 근 수축에 의해 발생된 근력은 건이나 건막과 같은 결합조직 구조를 통해 골격에 전달되며, 이러한 결합조직의 기계적 속성이 에너지 저장 및 방출과 관련하여 운동 수행력에 중요한 역할을 하는 것으로 보고된다. 최대 수의적 등척성 수축을 하게 되면, 근육 내 결합조직은 변형에 대한 순응도(Compliance)가 증가하여 실제 근육 속 근 섬유는 짧아지게 된다. 따라서, 높은 강성을 가진 근육은 변형에 대한 높은 저항력을 가지므로 상대적으로 낮은 강성을 가진 근육보다 효과적으로 에너지를 저장 및 방출하게 되어 결과적으로 더 큰 근 수축력을 발생하게 된다.

본 연구에서 Decrement는 근 수축 수준에 따라 유의한 차이를 나타내지 않았다. 근육 부위에 따라 그리고 근 수축 수준의 정도에 따라 다른 결과를 보일 수도 있기 때문에, 본 연구결과로 국소 근육 중 하나인 천지굴근의 탄성이 근 수축 수준과 관련성이 없다고 단정짓기는 어렵다. 다만, Myoton은 근 수축 수준과의 관련성을 규명하는데 있어서 탄성보다는 강성 및 긴장도가 더욱 효과적인 지표가 될 것으로 판단된다.

근육이 피로하게 되면 액틴-마이오신의 활주상태가 강화되어 마이오신의 연결교(Cross-bridge)가 더욱 견고하게 액틴에 부착되고(Curtin and Edman, 1989; Edman and Lou, 1990; Zhang and Rymer, 2001), 피로에 의해 유발된 근육 내 대사 물질 축적으로 운동 단위의 근 활성화 빈도가 증가하게 된다(Amann and Dempsey, 2008; Decorte et al., 2012). 이러한 근육 내 현상으로 인해 근 피로에 대한 보호작용으로 강성 및 긴장도는 증가하게 된다. 기존 연구결과에서도 유사한 결과를 보여주고 있는데, 도로 공사 작업자와 포장 인부들의 강성을 Myoton-3 장비를 이용하여 작업 전/후 비교한 연구에서, 작업 후 긴장도는 더 증가하였으며(Roja et al., 2006), 성인 남녀 44명의 운동 전/후 무릎 관절의 강성을 분석한 연구(Wang et al., 2017)에서도, 남녀 모두 운동 후 강성의 증가를 나타내어 본 연구결과와 일치함을 확인할 수 있었다.

## 5. Conclusions

본 연구에서 Myoton 시스템을 이용하여 전완의 천지굴근에 대한 근 속성과 근 수축 수준과의 관련성을 규명하고 근 피로에 의한 영향을 평가하였다. 근 수축의 여러 수준(%MVCs)은 강성 및 긴장도와 양의 상관을 보였다. 즉, 근 수축의 수준이 증가함에 따라, 근육의 강성과 긴장도 또한 함께 증가하는 경향을 보였다. 또한, 근 피로도 영향을 분석한 결과, 근 속성 중 강성과 긴장도는 근육의 피로함에 따라 증가하는 경향을 보였다.

기존의 여러 근육의 특성과 힘에 관한 연구에서 일반적으로 근전도 장비와 데이터를 이용하여 평가해 왔으나, 장비의 사용과 데이터 분석방법에 있어 다소 난해하거나 분석을 위한 시간이 소요되는 어려움이 있어, 근육의 활동량이나 피로 정도를 보다 쉽고 간편한 방법으로 평가할 수 있는 장비를 찾고자 본 연구를 실시하였다. 실험결과, Myoton 시스템은 국소 근육의 힘 예측 및 평가 그리고 근 피로도 평가에 효율적인 도구가 될 수 있는 가능성을 시험해 보았다고 할 수 있다. 추후 Myoton의 데이터의 활용에 대한 신뢰도를 높이기 위해서는 보다 다양한 여러 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

## Acknowledgement

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

## References

- Amann, M. and Dempsey, J.A., Locomotor muscle fatigue modifies central motor drive in healthy humans and imposes a limitation to exercise performance. *The Journal of Physiology*, 586(1), 161-173, 2008.
- Asmussen, E. and Mazin, B., A central nervous component in local muscular fatigue. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 38(1), 9-15, 1978.
- Butler, R.J., Crowell III, H.P. and Davis, I.M., Lower extremity stiffness: implications for performance and injury. *Clinical Biomechanics*, 18(6), 511-517, 2003.
- Cetinus, E., Buyukbese, M., Uzel, M., Ekerbicer, H. and Karaoguz, A., Hand grip strength in patients with Type 2 diabetes mellitus, *Diabetes Research and Clinical Practice*, 70, 278-286, 2005.
- Curtin, N.A. and Edman, K.A., Effects of fatigue and reduced intracellular pH on segment dynamics in 'isometric' relaxation of frog muscle fibres. *The Journal of Physiology*, 413(1), 159-174, 1989.
- Decorte, N., Lafaix, P.A., Millet, G.Y., Wuyam, B. and Verges, S., Central and peripheral fatigue kinetics during exhaustive constant-load cycling. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 22(3), 381-391, 2012.
- Ditroilo, M., Hunter, A.M., Haslam, S. and De Vito, G., The effectiveness of two novel techniques in establishing the mechanical and contractile responses of biceps femoris. *Physiological Measurement*, 32(8), 1315, 2011.
- Edman, K.A. and Lou, F., Changes in force and stiffness induced by fatigue and intracellular acidification in frog muscle fibres. *The Journal of Physiology*, 424(1), 133-149, 1990.
- Fröhlich-Zwahlen, A.K., Casartelli, N.C., Item-Glatthorn, J.F. and Maffiuletti, N.A., Validity of resting myotonometric assessment of



lower extremity muscles in chronic stroke patients with limited hypertonia: a preliminary study. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 24(5), 762-769, 2014.

Härkönen, R.M., Piirtomaa, M. and Alaranta, H., Grip strength and hand position of the dynamometer in 204 Finnish adults. *Journal of Hand Surgery European*, 18(1), 129-132, 1993.

Jarocka, E., Marusiak, J., Kumorek, M., Jaskólska, A. and Jaskólski, A., Muscle stiffness at different force levels measured with two myotonometric devices. *Physiological Measurement*, 33(1), 65, 2011.

Kelly, J.P., Koppenhaver, S.L., Michener, L.A., Proulx, L., Bisagni, F. and Cleland, J.A., Characterization of tissue stiffness of the infraspinatus, erector spinae, and gastrocnemius muscle using ultrasound shear wave elastography and superficial mechanical deformation. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 38, 73-80, 2018.

Kim, C.S. and Kim, M.K., Mechanical properties and physical fitness of trunk muscles using Myoton, *The Korea Journal of Physical Education*, 55(1), 633-642, 2016.

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.

Kim, J.H., Kim, Y.H. and Park, J.M., Muscle tone and somatosensory system acting on this. *The Journal of Korean Society of Physical Therapy*, 15(2), 8599, 2003.

Kim, S.D., Hong, S.H., Seo, J.N., Shin, Y.R., Lee, H.H. and Jeong, I.G., The effect of self-myofascial release on elasticity and stiffness of fatigued rectus femoris muscle induced by isokinetic endurance exercise, *Journal of Sport and Leisure Studies*, 65, 651-662, 2016.

Komiya, H., Maeda, J. and Takemiya, T., Change of functional muscle stiffness during isometric contraction of the forearm muscles. *Advances in Exercise and Sports Physiology*, 6(4), 175, 2000.

Kong, Y.K. and Kim, D.M., The relationship between hand anthropometrics, total grip strength and individual finger force for various handle shapes, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 21(2), 187-192, 2015.

Kong, Y.K., Seo, M.T. and Kang, H.S., Evaluation of total grip strength and individual finger forces on opposing (A-type) handles among Koreans. *Ergonomics*, 57(1), 108-115, 2014.

Korhonen, R.K., Vain, A., Vanninen, E., Viir, R. and Jurvelin, J.S., Can mechanical myotonometry or electromyography be used for the prediction of intramuscular pressure?, *Physiological Measurement*, 26(6), 951, 2005.

Lee, K.S., Woo, K.J., Shim, J.H. and Lee, G.H., The Clinical Study of Grip and Pinch Strength in Normal Korean Adult, *Journal of Korean Orthopaedic Association*, 30(6), 1589-1597, 1995.

Liao, K.H., Experimental study on gender differences in hands and sequence of force application on grip and handgrip control. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 20(1), 77-90, 2014.

Liederbach, M., Schanfein, L. and Kremenic, I.J., What is known about the effect of fatigue on injury occurrence among dancers.

*Journal of Dance Medicine and Science*, 17(3), 101-108, 2013.

Marusiak, J., Jaskólska, A., Budrewicz, S., Koszewicz, M. and Jaskólski, A., Increased muscle belly and tendon stiffness in patients with Parkinson's disease, as measured by myotonometry. *Movement Disorders*, 26(11), 2119-2122, 2011.

Meyers, M.C., Laurent, C.M., Higgins, R.W. and Skelly, W.A., Downhill ski injuries in children and adolescents. *Sports Medicine*, 37(6), 485-499, 2007.

Nicolay, C. and Walker, A., Grip strength and endurance: influences of anthropometric variation, hand dominance, and gender, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35, 605-618, 2005.

Oldfield, R.C., The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113, 1971.

Orlando, C., Levitan, E.B., Mittleman, M.A., Steele, R.J. and Shrier, I., The effect of rest days on injury rates. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 21(6), e64-e71, 2011.

Park, S., Jung, S.H. and Kim, T.Y., Effect of Wheelchair Tennis Exercise on Hand Strength of Wheelchair Propelling Spinal Cord Injured Patients, *The Korea Journal of Sports Science*, 15(4), 859-868, 2006.

Petersen, P., Petrich, M., Connor, H. and Conklin, D., Grip strength and hand dominance: challenging the 10% rule, *The American Journal of Occupational Therapy*, 43(7), 444-447, 1989.

Pheasant, S.T. and Scriven, J.G., "Sex differences in strength: some implications for the design of hand tools" Coombers K, editor. *Proceeding of the Ergonomics Society's Conference*; (pp9-13), London. Taylor & Francis, 1983.

Pruyn, E.C., Watsford, M. and Murphy, A., The relationship between lower-body stiffness and dynamic performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(10), 1144-1150, 2014.

Roja, Z., Kalkis, V., Vain, A., Kalkis, H. and Eglite, M., Assessment of skeletal muscle fatigue of road maintenance workers based on heart rate monitoring and myotonometry. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 1(1), 20, 2006.

Schmidt, R.T. and Toews, J.V., Grip strength as measured by the Jamar dynamometer, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 51(6), 321-327, 1970.

Schneider, S., Peipsi, A., Stokes, M., Knicker, A. and Abeln, V., Feasibility of monitoring muscle health in microgravity environments using Myoton technology. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 53(1), 57-66, 2015.

Talsania, J.S. and Kozin, S.H., Normal digital contribution to grip strength assessed by a computerized digital dynamometer. *Journal of Hand Surgery European*, 23(2), 162-166, 1988.

Viitasalo, J.T. and Komi, P.V., Effects of fatigue on isometric force-and relaxation-time characteristics in human muscle. *Acta Physiologica Scandinavica*, 111(1), 87-95, 1981.

Wang, D., De Vito, G., Ditroilo, M. and Delahunt, E., Effect of sex and fatigue on muscle stiffness and musculoarticular stiffness of the knee joint in a young active population. *Journal of Sports Sciences*, 35(16), 1582-15913, 2017.

Watsford, M.L., Murphy, A.J., McLachlan, K.A., Bryant, A.L., Cameron, M.L., Crossley, K.M. and Makkissi, M., A prospective study of the relationship between lower body stiffness and hamstring injury in professional Australian rules footballers. *The American Journal of Sports Medicine*, 38(10), 2058-2064, 2010.

Yang, S.H., Cho, M.S. and Kang, Y.S., Ergonomic factors assessment of hand tool handle, *Journal of the Korea Safety Management and Science*, 8(1), 2006.

Zhang, L.Q. and Rymer, W.Z., Reflex and intrinsic changes induced by fatigue of human elbow extensor muscles. *Journal of Neurophysiology*, 86(3), 1086-1094, 2001.

## Author listings

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

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

**Position title:** Technical sales, SEED tech

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

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

**Highest degree:** Ph.D., 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

**Ju-Hee Lee:** heyj\_hee@naver.com

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

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

**Hyun-Ho Shim:** shim2906@naver.com

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

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

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

**Jae-Kyeong Kim:** kjg9244@naver.com

**Highest degree:** B.S., Division of Mechatronics Engineering, Dongseo University

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

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

**Min-Uk Cho:** crayonmm@naver.com

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

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

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

**Chae-Won Park:** cwrachel@naver.com

**Highest degree:** B.S., Department of Computer Science, Bachelor's Degree Examination for Self-Education

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

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

**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, Prosthesis