

## 정상인에서 양손 및 한손 움직임 시 근활성도 비교

김태훈<sup>‡</sup>

<sup>‡</sup>동서대학교 보건의료계열 작업치료학과

### Comparison of Bimanual and Unimanual Movements on Muscle Activity in Healthy Adults

Kim Taehoon, OT, Ph.D<sup>‡</sup>

<sup>‡</sup>*Dept. of Occupational Therapy, Dongseo University*

#### Abstract

**Purpose** : The aim of this study was to compare the muscle activities of thumb and wrist during unimanual, bimanual symmetric and bimanual reciprocal movements using surface electromyography.

**Method** : Thirty-six participants were involved in this study. Two blocks were used to perform unimanual, bimanual symmetric and bimanual reciprocal movements of thumb and wrist. Muscle activities in the flexor pollicis brevis, abductor pollicis brevis, extensor carpi radialis and flexor carpi radialis were measured using an surface EMG system.

**Result** : For the flexor pollicis brevis and abductor pollicis brevis, significant difference in the muscle activity were found among the unimanual, bimanual symmetric and bimanual reciprocal movement. For the extensor carpi radialis and flexor carpi radialis, the unimanual movement significantly different from the bimanual symmetric and reciprocal movements.

**Conclusion** : Both the thumb and wrist, bimanual symmetric and reciprocal movements were more efficient than the unimanual movement. Moreover, with regard to the thumb, the bimanual reciprocal movement was more efficient than the bimanual symmetric movement.

---

**Key Words** : unimanual, bimanual, symmetric, reciprocal, surface electromyography

<sup>‡</sup>교신저자 : 김태훈 context@dongseo.ac.kr

논문접수일 : 2018년 2월 19일 | 수정일 : 2018년 3월 2일 | 게재승인일 : 2018년 3월 8일

※ 이 논문은 2016년도 동서대학교 “Dongseo Frontier Project” 지원에 의하여 이루어진 것임.

## I. 서론

대부분의 일상생활활동은 한손 움직임(unimanual movement) 또는 양손 움직임(bimanual movement)으로 수행되는데, 양손 움직임에는 양손 대칭 움직임(bimanual symmetric movement) 또는 양손 비대칭 움직임(bimanual asymmetric movement)이 있다(Blinch 등, 2017). 양손 대칭 움직임에는 무거운 상자 들고 옮기기, 양손으로 서랍 닫기, 농구공 받기, 평영(breaststroke swimming) 등이 있으며, 양손 비대칭 움직임에는 한 손으로 컵을 잡고 다른 손으로 물 붓기, 가위질하기, 자유형(freestyle swimming) 등이 있다.

한손 움직임, 양손 대칭 움직임, 양손 비대칭 움직임은 운동형상학적(kinematic) 측면에서 차이가 있다. 양손 대칭 움직임은 양손의 움직임이 시간적, 공간적으로 유사하게 수행되지만, 양손 비대칭 움직임은 양손의 근육이 시간적 또는 공간적으로 차이를 보이며 수행된다(Wang 등, 2017). 유원규 등(2005)의 연구에서는 삼차원 동작분석장비(Zebris Mdzintech, Germany)를 활용하여 양손 대칭 움직임과 한손 움직임을 비교한 결과 양쪽 팔뻗기가 한쪽 팔뻗기보다 시간이 유의하게 감소하였다. Platz 등(2001)의 연구에서는 집게 손가락(index finger)으로 A 지점-B지점 이동 시 양손 대칭 움직임이 한손 움직임보다 공간적 오류가 유의하게 감소한 결과를 확인하였다. 이러한 결과들은 양손 대칭 움직임 수행 시 좌뇌 및 우뇌 앞운동결절(premotor cortex), 보완운동결절(supplementary motor cortex)에서 커플링(coupling)이 발생한 결과로 생각된다(Andres 등, 1999). 즉 양손 대칭 움직임은 한손 움직임보다 시간적, 공간적 요소의 효율성이 상대적으로 높다는 것을 의미한다.

김태훈(2015)의 연구에서는 삼차원 가속도계(Fitmeter tri-axial accelerometer, Fit Dot Life Corporation, Korea)를 활용하여 양손 비대칭 움직임(왼손으로 컵을 잡고 오른손으로 물 붓기)과 한손 움직임(오른손으로 물 붓기)을 비교한 결과 양손 비대칭 움직임 수행 시 한손 움직임보다 최대 감속도(peak deceleration)가 증가하여, 움직임의 효율성이 증가한다고 하였다. 최대감속도 증가는 대항근(antagonist muscle)의 근활성도 증가를 의미하는데, 이것

은 동작 수행 중 움직임의 종료지점에서 빠르게 정확하게 정지할 수 있는 능력을 의미한다(Gray 등, 2012). 양손 비대칭 움직임에도 다양한 유형이 있으나, 이들 중 공간적으로 같은 동작이 시간적 차이를 두고 반복되는 움직임을 양손 교대 움직임(bimanual reciprocal movement)으로 정의한다(Goldberg & Bougakov, 2005). 사다리 오르거나 네발기기와 같이 왼쪽 팔굽 펴고 오른쪽 팔굽 굽힘, 왼쪽 팔굽 굽힘과 오른쪽 팔굽 펴기 교대로 일어나는 활동이 양손 교대 움직임의 예가 될 수 있다(Kurtzer 등, 2016). 양손 교대 운동은 교대 억제(reciprocal inhibition)를 촉진하여, 작용근(agonist)과 대항근의 협응에 기여할 것으로 생각된다(Gribble 등, 2003).

기존 연구들에서는 각각 다른 동작(팔 뻗기, 손가락 이동, 물 붓기 등) 수행 중 양손 대칭 움직임은 한손 움직임보다, 양손 비대칭 움직임은 한손 움직임보다 시간적 및 공간적 효율성이 높다는 결과를 각각 제시하였다. 그러나 같은 동작을 기준으로 세 가지 움직임 유형을 동시에 측정하여, 양손 비대칭 움직임 중 양손 교대 움직임과 양손 대칭 움직임 또는 한손 움직임과 비교해야 할 필요가 있을 것이다. 또한 초음파나 적외선 기반의 동작분석장비, 중력센서 기반의 가속도계를 측정 장비로 사용한 연구는 다수 있었으나, 동작분석장비는 총 움직임 궤적(movement trajectory) 등의 방법으로 가속도계는 x, y, z축에서 발생하는 측정값의 벡터합으로 활동량을 계산하기 때문에, 근전도를 통한 근활성도 측정 결과와는 차이가 있을 가능성이 있다. 본 연구는 근전도를 활용하여 한손 움직임, 양손 대칭 움직임, 양손 교대 움직임에서 근활성도를 측정하여, 세 가지 움직임 수행 시 상지 움직임의 효율성을 비교하고자 하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구대상 및 기간

2017년 10월 1일부터 동월 30일까지 작업치료 임상가와 전공 교수들에게 연구의 안전성과 임상적 의의에 대한 연구윤리 자문을 받았고, 사전설명회를 통하여 참여자를 모집한 결과 최종 36명이 실험 참가를 신청하였다.

참여자들에게 우선 우세손이 오른손인지 확인하였고, 최근 1년 이내에 외과적 손상 병력이 없는지 확인 후 연구의 목적 및 과정을 충분히 설명하고 동의를 받았다. 본 실험은 2017년 11월 1일부터 동월 30일까지 수행하였고, 참가자의 성별은 남 18명 및 여 18명, 나이는  $22.20 \pm 2.21$  세, 키는  $167.35 \pm 8.29$  cm, 체중은  $61.03 \pm 10.19$  kg이었다.

## 2. 연구절차

### 1) 양손 및 한손 움직임의 정의

양손 및 한손 움직임의 세 가지 유형은 한손 움직임, 양손 대칭 움직임, 양손 교대 움직임으로 정의하였다 (Waller & Whittall, 2008). 측정 도구는 Action Research Arm Test (ARAT)의 항목에서 the Grasp Subscale에 사용되는  $2.5 \times 2.5 \times 2.5$  cm 크기의 나무 블록을 사용하였다 (Platz 등, 2005). 테이블 바닥에 시작과 끝 지점이 그려진 용지를 A, C지점에 테이블 끝에서 20 cm 위치가 되도록 부착하였고, A-B, C-D의 간격은 각각 20 cm로 A-C, B-D의 간격은 14 cm로 배치하였다(그림 1).

한손 움직임은 오른손으로 블록을 C→D→C로 이동하는 과제이며, 양손 대칭 움직임은 오른손은 C→D→C로 동시에 왼손은 A→B→A로 이동하는 과제이며, 양손 교대 움직임은 오른손은 C→D→C로 동시에 왼손은 B→A→B로 이동하는 과제이다.

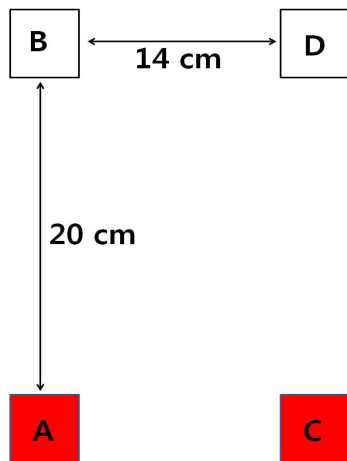


그림 1. 실험 과제 도식

### 2) 근육의 선정과 근전도 신호의 수집

상지의 근활성도를 측정한 다수의 연구들은 물건 이동이나 팔뻗기 동작 수행 시 위팔두갈래근(biceps brachii)이나 위팔세갈래근(triceps brachii)과 같은 몸 쪽 근육을 주로 측정하였으나, 본 연구에서는 먼 쪽 근육에서 발생하는 잡기 동작 중심으로 분석하고자 하였다. 문헌 고찰을 통하여 물건 잡기 및 이동에 사용되는 주요 근육 중, 표면근전도 수집에 적합한 짧은엄지굽힘근(flexor pollicis brevis), 짧은엄지벌림근(abductor pollicis brevis), 노쪽손목폄근(extensor carpi radialis), 노쪽손목굽힘근(flexor carpi radialis)을 선정하였다(Kerkhof 등, 2016; Merletti & Farina, 2016; Rouse & Schieber, 2016).

선정된 근육의 근활성도 측정을 위해 전극 부착부위를 알콜솜으로 충분히 닦은 후 각 근육마다 두 개의 표면 전극을 근섬유의 방향에 평행하게 부착하였다 (Merletti & Farina, 2016). 근전도를 부착한 후 각 근육의 근전도 값을 정량화하기 위해 맨손 근력 검사 자세에서 근육별로 최대 등척성 수축값(maximal voluntary isometric contraction, MVIC)을 5초간 측정하였다. 측정된 값은 실효값(root mean square) 처리하였고, 처음과 마지막 1초를 제외한 3초간의 평균 신호량을 100% MVIC로 정의하였다. 측정은 3번 반복하였으며 측정 간에는 1분의 휴식시간이 있었다.

최대 등척성 수축값 측정 후 대상자에게 “최대한 빠르고 정확하게 블록으로 이동시키세요.” 라고 지시하였고, 충분한 사전 연습을 실시하여 학습효과를 최소화하였다. 모든 과제는 엉덩관절을  $100^\circ$  굽힌 자세로 체간을 테이블과 10 cm 간격을 유지하고 한손 또는 양손을 블록 옆에 편하게 놓은 상태에서 “시작” 신호와 동시에 측정을 시작하며, 블록을 놓고 나서 손이 제자리에 돌아온 상태에서 측정을 종료하였다. 순서 효과를 배제하기 위하여 세 가지 과제를 무작위로 제시하였고, 각 과제를 3회 반복 측정하여 총 9회 수행하는 동안 근전도 신호를 수집하였다.

## 3. 측정도구

### 1) 표면 근전도 장비

표면 근전도 측정 장비는 안드로이드 기반의 Bluetooth

EMG system(2EM, ReLive, Korea)을 사용하였으며(그림 2), 표면 전극은 3M사의 Ag/AgCl electrode(직경 11.4 mm, 전극테 직경 20 mm)를 사용하였다. 네 개의 근육에서 수집된 아날로그 신호가 디지털 신호로 변환되었고, 태블릿 PC상에서 ReLive 4D-MT 프로그램을 통해 자료를 수집 처리하였다. 표본 추출률은 1000 Hz, 주파수 대역폭은 0~500 Hz로 설정하였다. 근육별 수집된 근전도 신호는 RMS(root mean square) 처리 후, 최대 등척성 수축값을 기준으로 %MVIC 값을 산출하였다.



그림 2. 2EM Bluetooth EMG system

4. 자료분석

4D-MT 프로그램에서 화면에 표시된 측정값을 엑셀 파일로 변환하여 자료를 정리하였다. 통계 검정은 SPSS 소프트웨어(SPSS ver. 18.0, Chicago, IL, USA)를 사용하였다. 세 가지 움직임 유형(한손 움직임, 양손 대칭 움직임, 양손 교대 움직임)과 네 가지 근육(짧은엄지굽힘근, 짧은엄지벌림근, 노쪽손목펴근, 노쪽손목굽힘근)에서 측정된 값을 처리하기 위하여 반복측정에 의한 이원분산

분석(two-way repeated analysis of variance)을 사용하였고, 사후 검정은 선형대비검정(linear contrast test)을 사용하였다(Vasey & Thayer, 1987). 통계학적 유의수준은 0.05로 하였다.

III. 결 과

1. 움직임 유형에 따른 근활성도 비교

움직임 유형에 따른 개별 근육의 근활성도를 분석한 결과, 짧은엄지굽힘근은 모든 움직임에서 유의한 차이를 보였다(p=.00). 한손 움직임에서의 근활성도가 유의하게 가장 증가하였으며(p=.00), 양손 교대 움직임에서 가장 낮은 근활성도를 차이를 보였다(p=.00). 짧은엄지벌림근의 경우에도 움직임에 따라 근활성도에 유의한 차이가 나타났다(p=.00). 한손 움직임에서의 근활성도가 가장 증가하였으며(p=.01), 양손 교대 움직임에서 가장 낮은 근활성도를 보였다(p=.00). 노쪽손목펴근은 한손 움직임 시 양손 대칭 움직임(p=.00)과 양손 교대 움직임(p=.00)보다 근활성도가 유의하게 증가하였으나, 양손 대칭 움직임과 양손 교대 움직임에서는 유의한 차이를 보이지 않았다(p=.82). 노쪽손목굽힘근의 경우 한손 움직임이 양손 교대 움직임보다 유의한 근활성도 증가를 보였으나(p=.01), 한손 움직임과 양손 대칭 움직임(p=.06), 양손 대칭 움직임과 양손 교대 움직임(p=.87) 간에는 근활성도의 유의한 차이가 나타나지 않았다(표 1)(그림 3).

표 1. 움직임 유형과 측정 근육에 따른 근활성도 비교

(Unit= %MVIC)

측정 근육 \ 움직임 유형	한손 움직임	양손 대칭 움직임	양손 교대 움직임	F	p
짧은엄지굽힘근	47.47±18.12	28.52±17.26	18.73±8.54	33.15	.00**
짧은엄지벌림근	42.62±15.64	29.43±25.82	19.92±11.75	15.42	.00**
노쪽손목펴근	43.40±21.19	20.51±10.73	21.14±16.27	24.54	.00**
노쪽손목굽힘근	30.02±18.10	21.44±19.44	20.85±15.79	3.67	.03*
F	6.07	2.14	.24		
p	.00**	.09	.87		

\*p <.05; \*\*p<.01

2. 근육 위치에 따른 근활성도 비교

한손 움직임 수행 시 다른 근육에 비해 노쪽손목굽힘근의 근활성도가 유의하게 감소하였으나(p=.00), 짧은엄지굽힘근, 짧은엄지벌림근, 노쪽손목펴금 세 근육의 근

활성도는 서로 유의한 차이가 나타나지 않았다(p=.74; p=.99; p=.83). 양손 대칭 움직임 수행 시 네 가지 근육의 근활성도가 서로 유의한 차이가 없었고(p=.09), 양손 교대 움직임 수행 시에도 네 가지 근육의 근활성도에 유의한 차이가 없었다(p=.87)(표 1).

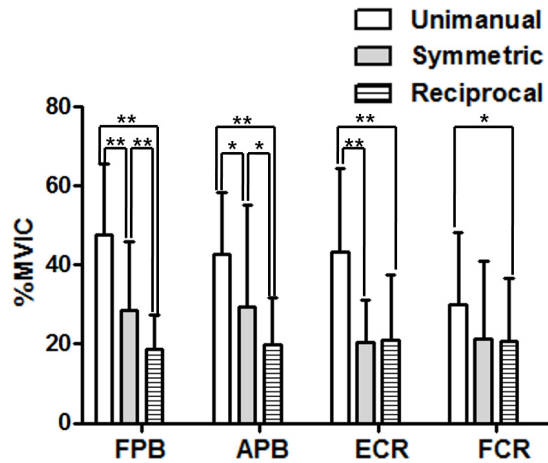


그림 3. 움직임 유형에 따른 근활성도 비교 Unimanual: 한손 움직임; Symmetric: 양손 대칭 움직임; Reciprocal: 양손 교대 움직임; FPB: 짧은엄지굽힘근; APB: 짧은엄지벌림근; ECR: 노쪽손목펴금; FCR: 노쪽손목굽힘근; \* p <.05; \*\* p<.01

IV. 고 찰

본 연구에서는 양손 및 한손 움직임 시 움직임 유형과 근육 위치에 따른 근활성도를 비교하였다. 움직임 유형에 따른 짧은엄지굽힘근과 짧은 엄지벌림근의 근활성도는 한손 움직임, 양손 대칭 움직임, 양손 교대 움직임 순서로 감소하였으며, 노쪽손목펴금, 노쪽손목굽힘근은 한손 움직임보다 양손 움직임에서 유의하게 낮은 근활성도를 보였다. 근육 위치에 따른 근활성도는 한손 움직임 수행 시 노쪽손목굽힘근에서만 유의한 감소를 보였을 뿐, 다른 동작에서 근육들 사이의 근활성도는 유의한 차이를 나타내지 않았다. 이것은 세 가지 움직임 유형에 따른 엄지손가락과 손목 근육의 수축 비율은 유사하지만, 움직임 효율성에서만 차이가 있다는 것을 의미한다.

양손 움직임 수행 시 한손 움직임 보다 근활성도가 유의하게 감소하였는데, 같은 동작을 수행할 때 근활성도

가 상대적으로 감소한다는 것은 생체역학적 측면에서 더 효율적이라는 것을 의미한다(기한상 등, 2010). 이것은 동작분석장비나 가속도계를 활용한 기존 연구 결과와 마찬가지로 양손 대칭 또는 교대 움직임 시 신경생리학적 커플링의 결과로 움직임의 총 궤적(trajjectory)이 감소하고 움직임의 효율성이 증진되었기 때문일 것이다(유원규 등, 2005; Platz 등, 2001).

양손 움직임 중에서도 교대 움직임 수행 시 대칭 움직임 수행보다 근활성도가 감소한 것은 신경생리학적 측면에서 의미가 있다. 대부분의 상지 협응 동작은 작용근 수축과 대항근 이완, 작용근 이완과 대항근 수축이 교대로 발생하는데 이것은 중심패턴발생기(central pattern generator)에 의해 조절된다(Zheng & Wang, 2017). 이 때 양손 교대 움직임은 움직임의 시작과 실행에 관여하는 Renshaw cell을 촉진하여, 협력근(synergistic muscle), 작용근, 대항근 활동의 효율성을 증진시키는 것으로 생각된다(Kofotolis & Kellis, 2006; Contreras-Vidal 등, 1997).

또한 운동 연결 모델(the kinetic link model)에서도 수영이나 농구와 같은 스포츠 활동에서 동측 및 반대측 상·하지의 움직임이 서로 상호의존적이므로 리듬감 있는 양측 교대 움직임을 강조한다(Gard 등, 2004).

양손 교대 움직임과 양손 대칭 움직임을 비교한 결과 짧은엄지굽힘근과 짧은엄지벌림근의 근활성도는 유의하게 감소하였으나, 노쪽손목편근과 노쪽손목굽힘근에서는 유의한 차이가 없었다. 짧은엄지굽힘근과 짧은엄지벌림근의 근활성도는 유의하게 감소했다는 것은 엄지손가락으로 블록을 잡고 놓을 때 더 적은 노력으로 수행했다고 해석할 수 있을 것이다. 엄지손가락의 움직임은 집기(pinch)에서 핵심적인 역할을 담당한다. Kaufman 등(1999)은 짧은엄지굽힘근은 엄지굽힘의 주작용근이지만 엄지벌림 시 협력근으로써 약 58 %까지 활성화하고, 짧은엄지벌림근은 엄지벌림의 주작용근이지만 엄지굽힘 시 협력근으로 약 65 %까지 활성화된다고 하였다. 따라서 집기와 놓기 동작 시 두 근육이 모두 활성화된다고 볼 수 있다. Levin 등(2004)의 연구에서는 양쪽 손목 대칭 굽힘과 편, 양쪽 손목 교대 굽힘과 편을 수행할 때 노쪽손목편근과 노쪽손목굽힘근의 근활성도를 측정하고 양쪽 손목 대칭 움직임 시와 한쪽 손목 교대 움직임 시 유의한 차이를 보였으나, 본 연구에서는 양손 대칭 움직임과 양손 교대 움직임의 차이가 없었다. 이것은 본 연구에서 수행된 블록 집기 및 놓기 과제는 손목의 굽힘/편 움직임보다는 엄지손가락의 굽힘/벌림 움직임 중심으로 수행되었기 때문일 것으로 생각된다(Kerkhof 등, 2016).

본 연구의 제한점은 첫째, 한손 움직임, 양손 대칭 움직임, 양손 교대 움직임 시 발생하는 근활성도를 동시에 측정하였으나, 움직임에 영향을 줄 수 있는 체간, 어깨, 팔굽과 같은 몸 쪽의 움직임을 고려하지 않았다. 둘째, 각각의 움직임이 시간이 통제되지 않아서 대상자 사이, 각 동작 사이에 소요되는 시간에 차이를 통제하지 않았다. 셋째, 건강한 20대 젊은 성인만을 대상으로 하여 일반화가 어렵다는 것이다. 추후에는 노인이나 신경계 손상 환자를 대상으로 한 연구가 시행되어야 할 것이다.

## V. 결론

본 연구에서 블록 집기, 이동, 놓기 동작을 수행할 때 한손 움직임보다는 양손 대칭 움직임과 양손 교대 움직임 수행 시 엄지손가락과 손목의 근활성도가 감소하였고, 이것은 양손 움직임이 한손 움직임보다 효율적이라는 것을 의미한다. 양손 대칭 움직임 보다 양손 교대 움직임 수행 시 엄지손가락의 근활성도가 감소한 것은, 양손 교대 움직임이 움직임 협응과 효율성 향상에 도움이 된다는 것을 의미할 것이다. 따라서 본 연구는 양손 교대 움직임을 노인 또는 신경계 손상환자에게 적용하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- 기한상, 권오윤, 이충휘 등(2010). 테이핑 적용이 승모근 통증 환자의 견갑골 상방 회전근 근 활성도와 통증에 미치는 영향. 한국전문물리치료학회지, 17(1), 77-85.
- 김태훈(2015). 뇌졸중 환자에서 양손 보완운동의 운동형상학. 한국콘텐츠학회논문지, 15(4), 342-349.
- 유원규, 박지혁, 김민희(2005). 다양한 양측 팔뻗기 작업 수행시 팔뻗기 속도와 수직이동거리. 대한작업치료학회지, 13(2), 41-49.
- Andres FG, Mima T, Schulman AE, et al(1999). Functional coupling of human cortical sensorimotor areas during bimanual skill acquisition. Brain, 122(5), 855-870.
- Blinch J, Franks IM, Carpenter MG, et al(2017). Response selection contributes to the preparation cost for bimanual asymmetric movements. J Mot Behav, 6(1), 1-6.
- Contreras-Vidal JL, Grossberg S, Bullock D(1997). A neural model of cerebellar learning for arm movement control: cortico-spino-cerebellar dynamics. Learn Mem, 3(6), 475-502.
- Gard SA, Miff SC, Kuo AD(2004). Comparison of kinematic and kinetic methods for computing the vertical motion of the body center of mass during

- walking. *Hum Mov Sci*, 22(6), 597-610.
- Goldberg E, Bougakov D(2005). Neuropsychologic assessment of frontal lobe dysfunction. *Psychiatr Clin North Am*, 28(3), 567-580.
- Gray VL, Ivanova TD, Garland SJ(2012). Control of fast squatting movements after stroke. *Clin Neurophysiol*, 123(2), 344-350.
- Gribble PL, Mullin LI, Cothros N, et al(2003). Role of cocontraction in arm movement accuracy. *J Neurophysiol*, 89(5), 2396-2405.
- Kaufman KR, An KN, Litchy WJ, et al(1999). In-vivo function of the thumb muscles. *Clin Biomech*, 14(2), 141-150.
- Kerkhof FD, Deleu G, D'Agostino P, et al(2016). Subject-specific thumb muscle activity during functional tasks of daily life. *J Electromyogr Kinesiol*, 30(1), 131-136.
- Kofotolis N, Kellis E(2006). Effects of two 4-week proprioceptive neuromuscular facilitation programs on muscle endurance, flexibility, and functional performance in women with chronic low back pain. *Phys Ther*, 86(7), 1001-1012.
- Kurtzer I, Meriggi J, Parikh N, et al(2016). Long-latency reflexes of elbow and shoulder muscles suggest reciprocal excitation of flexors, reciprocal excitation of extensors, and reciprocal inhibition between flexors and extensors. *J Neurophysiol*, 115(4), 2176-2190.
- Levin O, Steyvers M, Wenderoth N, et al(2004). Dynamical changes in corticospinal excitability during imagery of unimanual and bimanual wrist movements in humans: a transcranial magnetic stimulation study. *Neurosci Lett*, 359(3), 185-189.
- Merletti R, Farina D(2016). *Surface electromyography: physiology, engineering and applications*. New Jersey, John Wiley & Sons.
- Platz T, Bock S, Prass K(2001). Reduced skilfulness of arm motor behaviour among motor stroke patients with good clinical recovery: does it indicate reduced automaticity? Can it be improved by unilateral or bilateral training? A kinematic motion analysis study. *Neuropsychologia*, 39(7), 687-698.
- Platz T, Pinkowski C, van Wijck F, et al(2005). Reliability and validity of arm function assessment with standardized guidelines for the Fugl-Meyer Test, Action Research Arm Test and Box and Block Test: a multicentre study. *Clin Rehabil*, 19(4), 404-411.
- Rouse AG, Schieber MH(2016). Spatiotemporal distribution of location and object effects in the electromyographic activity of upper extremity muscles during reach-to-grasp. *J Neurophysiol*, 115(6), 3238-3248.
- Vasey MW, Thayer JF(1987). The continuing problem of false positives in repeated measures ANOVA in psychophysiology: A multivariate solution. *Psychophysiology*, 24(4), 479-486.
- Waller SM, Whittall J(2008). Bilateral arm training: why and who benefits? *Neurorehabilitation*, 23(1), 29-41.
- Wang C, Boyle JB, Dai B, et al(2017). Do accuracy requirements change bimanual and unimanual control processes similarly? *Exp Brain Res*, 235(5), 1467-1479.
- Zheng Z, Wang R(2017). Arm motion control model based on central pattern generator. *Appl Math Mech*, 38(9), 1247-1256.