



Original Article

# Exploratory Study of Functional Movement in Rope Climbing

Chi-sun Choi, Won-je Cho and Kyoung-bae Kim\*

Korea Military Academy

### Article Info

Received 2022.01.26.

Revised 2022.02.23.

Accepted 2022.04.26.

### Correspondence\*

Kyoung-bae Kim

kbkim@kma.ac.kr

### Key Words

Rope climbing,  
Muscle activity,  
Joint range of motion,  
Functional movement

본 논문은 육군체력연구센터의 2021년도 연구활동비 지원을 받아 연구되었음.

**PURPOSE** This study aimed to explore the functional movement in rope climbing. **METHODS** The rope climbing experiment included 16 healthy young male participants, and the methods of hand, cross-leg, and foot-hooking climbing were employed. The muscle activity and joint range of motion were measured and analyzed using EMG (Electromyography) and IMU (Inertial Measurement Unit) sensors. One-way analysis of variance was conducted ( $\alpha < .05$ ). **RESULTS** The activity of the forearm and biceps muscle was lower in cross-leg and foot-hooking climbing compared to hand climbing ( $p < .01$ ), and the rectus femoris muscle activity in cross-leg climbing was smaller than that in hand climbing ( $p < .05$ ). Furthermore, the adductor muscle activity in cross-leg climbing was higher than that of other types ( $p < .01$ ). The range of motion for the elbow and shoulder flexion was smaller in hand climbing than in other types ( $p < .05$ ); furthermore, the range of motion in the pelvis, thigh, and knee joint was the smallest in cross-leg climbing ( $p < .05$ ). **CONCLUSIONS** Because the pulling muscles such as the forearm, biceps, pectoralis major, and latissimus dorsi play an important role in the entire climbing motion, it is necessary to train the upper-body pulling-muscle group along with strengthening the core and lower body muscles.

## 서론

우리나라 같은 산악 지형에서 급경사면의 바위나 절벽을 올라가기 위해서는 전문적 암벽등반 기술을 갖고 있지 않다면 맨몸으로 오르내리기 힘들기 때문에 밧줄이나 사다리와 같은 보조도구들을 이용하여 위로 이동한다. 화재와 같은 재난 구조상황에서도 밧줄이나 사다리를 이용하여 건물의 위층 또는 아래층으로 이동해야만 하는 경우가 종종 발생하며, 심지어 물에 빠졌을 때 구명보트에 올라타기 위해서도 난간이나 손잡이를 잡고 내 몸을 끌어올리는 동작을 통해 올라가야 한다.

군에서 실전상황 도심전투를 가정한다면 각종 건물들의 수직벽은 장애물이 되고, 그 장애물을 이용하여 은폐 및 엄폐하고 때로는 극복하여야 하는데 그 과정에서 낮은 수직벽은 뛰어 넘을 수 있겠지만, 높은 수직벽은 밧줄 등을 이용하여 타고 넘어야 할 필요가 있다. 특히 80~102°에 이르는 수직에 가까운 경사를 오르는 것은 매우 힘든 일에 대한 도전이라고 하였고(Watts & Drobish, 1998), 특히 Giles et al.(2006)은 오르기 난이도가 높아질수록 등반에 따르는 상체 근력 및 지구력 요구가 훨씬 더 커진다고 보고하였다.

Kim(2018)은 장애물 극복 동작으로 밧줄, 벽, 사다리를 오르는 등반(climbing), 상체 근력을 이용하여 끌어 올리는 동작인 매달려 팔굽히기(chinning), 상단부를 잡은 상태에서 한쪽 다리 넘기기(creeping), 한쪽 팔을 걸어 반동으로 넘기기(hook & swing)가 있다고 보고하였다. 이 중 등반은 암벽, 밧줄 또는 사다리 발판을 신체를 굽히면서 손으로 잡아 끌어당기는 근력이 필요한 동작에 해당한다.

밧줄 오르는 군에서 유격 장애물 극복훈련 중 일부 요소로서 전투 임무 수행을 위한 체력평가 요소로 많이 사용된다. 부대마다 평가방법은 다르지만, 팔의 힘만으로 올라갈 것을 권장하고 다리의 힘을 함께 이용하는 것은 다소 쉬운 방법으로 여겨 다리를 꼬거나 의지한 지점까지를 최종 기록으로 하기도 한다(Kim et al., 2016). 또한 씨름, 유도, 레슬링 등의 격기 종목에서 상체 근육의 단련을 위한 전통적인 수련법으로도 활용되어져 왔다. 하지만 국내에서 찾을 수 있는 밧줄 오르기 관련 선행연구는 생리학적 관점에서 신체조성, 체력 등과의 관련성을 살펴본 연구뿐이었다(Kim et al., 2016; Hwang & Min, 2020).

반면에 스포츠 클라이밍에 대한 연구는 매우 활발히 진행되었는데, 클라이밍 상황에서 낙상과 같은 부상 감소를 위하여 전완근의 트레이닝의 중요성을 강조하거나(Koukoubis et al., 1995), 매 클라이밍 시도 후 20분 정도면 악력과 악지구력이 회복된다는 보고를 하였다(Watts et al., 1996). 또한 클라이머에게 있어서 전완근의 역할이 매우 중요한데(Saul et al., 2019), 암벽등반 시 등척성 수축과 지속 수

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

축이 최대 수의적 수축에 가깝게 계속 반복되는 과정이기 때문이라고 보고하였다(Giles et al., 2006).

한편 사다리는 원칙적으로 높은 곳으로 이동하기 위한 가설통로의 수단으로 사용되고(Song et al., 2013), 사람의 체중을 견딜 수 있는 재료를 사용하여 힘의 하중을 분산시키며, 이동하고자 하는 곳에 걸쳐서 올라갈 수 있도록 하는 것이다(Lee & Park, 2005). Armstrong et al.(2009)은 사다리로 올라갈 때 받은 체중의 105%, 손은 체중의 34% 힘을 사용한다고 하였다.

밧줄 오르기도 사다리와 마찬가지로 체중을 분산시킬 수 있는 방법이 있는데, 밧줄을 오르다가 힘이 들 때, 바람이 불어서 밧줄에 의지해 균형을 잡아야 할 때, 쉬어야 할 때 등에는 허벅지나 종아리 사이에 밧줄을 끼우는 다리 꼬아 오르기와 밧줄을 발에 걸어 서는 방법인 발 걸어 오르기가 있다. Zampagni et al.(2011)은 암벽등반 시 두 발이 고정되고 난 다음 체중의 재분배를 잘 할 수 있다고 하였고, Giles et al.(2006)은 오르기 중 실 수 있다면 젖산 제거에 도움을 줄 수 있으므로 오르기 능력을 향상시킬 수 있다고 하였다. 또한 Saul et al.(2019)은 등반 시 낙상을 방지하기 위하여, 손으로 3점 터치(tripedal state) 또는 4점 터치(quadrupedal state)를 한다고 하였다.

균의 전투력 보존을 위한다면 팔의 힘만으로 밧줄을 오르는 것보다 다리를 꼬거나 발을 걸어 힘을 분산시키는 것이, 밧줄 오르기 다음 임무 수행을 위해서 유리할 것이다. 힘을 분산시키면 더욱 효율적으로 오르기 동작을 오래 할 수 있는 장점이 있음에도 불구하고, 손으로 오르기를 비롯한 여러 유형 밧줄 오르기의 특성에 대한 선행연구 및 자료는 찾기 어렵고 군 계통에서도 구전으로만 전해 내려올 뿐이었다.

특히 밧줄 오르기를 수행할 때, 동원되는 근육들의 근력 발휘 비중과 복부 및 하지 기능적 움직임 정보에 대한 체계적인 선행연구는 국내외 모두 거의 전무한 실정이다. 따라서 여러 밧줄 오르기 유형의 근육 활동과 움직임을 정량적으로 분석하여 객관적인 정보를 도출하고, 그에 따른 근력 훈련 방법 및 실시 요령을 제공하는 것은 성공적인 밧줄 오르기 수행을 위하여 꼭 필요하다.

이 연구는 균의 전투력을 향상시키기 위하여 밧줄 오르기와 관련된 기능적 움직임을 탐색하고, 대표적 훈련방법인 손으로 오르기, 다리 꼬아 오르기, 발 걸어 오르기의 특성을 분석하는 것을 목적으로 한다. 밧줄 오르기 유형별 근육 활동, 관절 가동범위에 대한 동작분석을 통해 각 방법의 장단점 및 특성을 도출하여 정리함으로써, 차후 체력단련 자료 및 군 교범에 수록할 수 있는 기초자료가 될 것이다.

## 연구방법

### 연구대상

본 연구의 대상자는 실험 6개월 이내에 수술 경력 또는 상·하지의 근

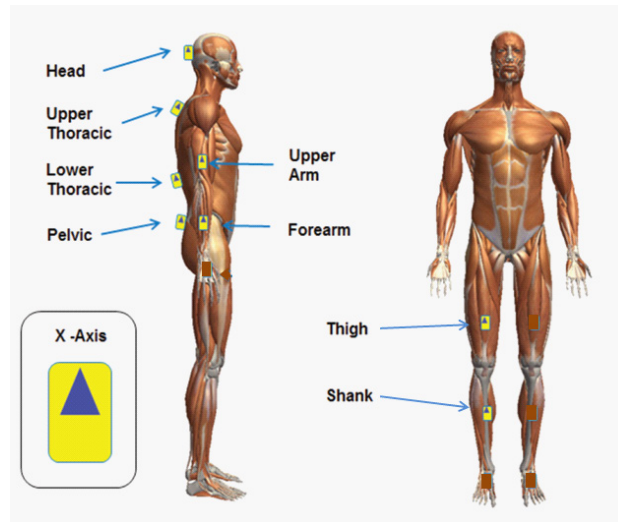


Fig. 1. IMU sensor attachment location

골격계에 부상 이력이 없으며, 발을 쓰지 않고 손으로만 밧줄 오르기가 가능한 20~30대 남성의 자발적인 참여로 모집하였다. 실험에 참여한 연구대상자들에게 연구의 목적, 방법 및 실험에 따르는 위험성에 대하여 충분한 설명 후 실험 참가에 대한 서면동의서를 받았다. 연구대상자의 정보는 <Table 1>과 같다.

### 실험도구

밧줄 오르기의 운동학적 특성을 비교·분석하기 위하여 무선 IMU (Inertial Measurement Unit) 센서 시스템(Noraxon社, USA)을 사용하였다. 사용된 IMU 센서의 측정범위는 각각 자기장  $\pm 16\text{Gauss}$ , 가속도  $\pm 200\text{g}$ , 각속도  $\pm 7,000\text{deg/s}$ 이며, 이 실험에서는 200Hz로 데이터를 수집하였다. <Figure 1>과 같이 손과 발을 제외한 머리, 흉추, 요추, 골반 및 오른쪽 상완, 전완, 대퇴, 하퇴에 8개의 IMU 센서를 부착하였다.

또한 밧줄 오르기 시 사용하는 근육의 활성도를 분석하기 위하여 무선 근전도 시스템(Noraxon社, USA)을 사용하였다. 근전도 데이터는 1,500Hz의 신호로 수집하였다. 밧줄 오르기 시 많이 동원되는 근육인 전완근(척추수근굴근), 상완이두근, 광배근, 대흉근, 복직근, 대퇴직근, 내전근, 비복근에 8개 전극을 부착하였고, IMU 센서를 통한 움직임 측정과 근육 작용을 일치시키기 위하여 모두 오른쪽 근육에 배치하였다.

이 실험에 사용한 myoMOTION(Noraxon社, USA) 기기는 IMU 센서와 EMG(Electromyography) 전극을 통하여 전달받은 신호를 동시에 수집할 수 있으며, 16개의 채널까지 수신할 수 있다. IMU 센서 8채널, EMG 전극 8채널을 통해 수집한 데이터는 모두 myoRESEARCH 3.16(Noraxon社, USA) 프로그램을 사용하여 분석하였다.

### 실험절차 및 방법

실험대상자는 각종 센서 부착을 위하여 상의 탈의 및 반바지 차림으로 실험에 임하였다. 발 걸어 오르기 시 발 부상 방지와 밧줄을 잡을 때 손 부상 방지를 위하여, 바닥이 딱딱한 신발(전투화 또는 운동화)

Table 1. Characteristic of subjects (Mean±SD)

Variables	Subject (n=16)
Height (cm)	174.1±4.4
Weight (kg)	71.6±7.9
Age (years)	22.6±3.2

과 장갑(3M 장갑 또는 코팅 목장갑)을 착용하였다. 실험 전 충분히 몸을 풀은 후, 오른쪽 상하지 각 EMG 전극 부착 근육에 대한 최대 수의적 수축(Maximum Voluntary Contraction; MVC)을 실시하였다. 각 근육별 MVC 측정방법은 Kim et al.(2013)을 참조하였다. 각 근육별로 최대 힘을 낼 수 있는 동작을 5초간 유지하여 3회씩 반복 측정하였고, 각 측정간 1분의 휴식을 제공하였다. 이후 IMU 센서를 부착하고 캘리브레이션을 실시하였다.

밧줄의 높이는 바닥으로부터 7m로써, 50cm 높이의 의자에 앉아서 시작하여 모두 동일높이를 오르도록 하였다. 실험대상자의 안전을 위하여 오르기 시작 후 30cm 두께의 매트를 바닥에 위치시켰다. 손으로 오르기, 발 걸어 오르기, 다리 꼬아 오르기의 3가지 유형 밧줄 오르기를 무작위로 실시하되 최대한 빨리 올라갈 것을 실험대상자에게 요구하였고, 각 유형의 모습은 <Figure 2>와 같다. 각 밧줄 오르는 체력을 많이 소모하므로 각 유형별 1회씩 실시하였고, Watts et al.(1996)에 따르면 20분 휴식으로 악력과 악지구력이 회복되는 효과를 보인다고 보고하여, 20분 이상의 충분한 휴식 시간을 주어 다음 유형 밧줄 오르기에 영향을 미치지 않도록 하였다.

자료 처리 및 분석

밧줄 오르기 3가지 유형은 복부 및 하지의 동작이 서로 다르지만, 왼손 또는 오른손을 올려 밧줄을 잡고 다른쪽 손을 올려 두 손으로 줄을 잡아당기는 동작 이후에 3가지 유형별로 각기 다른 복부 및 하지 운동을 나타내고, 이후 다시 같은 순서의 손으로 밧줄을 잡아당기는 공통점이 있었다. 따라서 왼손 또는 오른손으로 잡는 순간을 시작 이벤트로 설정하였고, 복부 및 하지 동작 이후 다음 같은 손으로 잡는 순간을 종료 이벤트로 설정하여, 밧줄의 꼭대기까지 올라가는 동안 각 시작 이벤트와 종료 이벤트 사이 구간의 각 유형별 반복 동작을 분석하였다.

EMG 신호 raw data는 rectification하여 음의 값을 양으로 변환 후 10~400Hz band pass filter로 정류하였다. 오르기 동안 동원되는 근육의 활성도는 각 MVC의 상대적 비율(%MVC)로 나타내었고, 각 반복 구간의 평균 근육 활성도를 산출하였다.

운동학적 분석을 위하여 IMU 센서 raw data는 15Hz low pass filter로 정류하여 사용하였으며, 팔꿈치관절 굴곡, 어깨관절 굴곡, 엉덩관절 굴곡/외전, 무릎관절 굴곡 및 골반 경사의 가동범위(ROM)를 산출하였다.



Hand climbing Cross leg climbing Foot hooking climbing  
 Fig. 2. 3 types of rope climbing

통계 처리

이 연구에서 측정된 자료는 SPSS(ver. 16.0) 통계 프로그램을 이용하여 분석하였다. 밧줄 오르기 유형별 운동학적 변인과 근전도 변인을 비교하기 위해서 일원변량분석(One-way ANOVA)을 실시하였고, 등분산성 검증을 통해 변량이 같으면 Tukey 사후검증을, 변량이 다르면 Tamhane's T2 사후검증을 사용하였으며, 유의수준은  $\alpha < .05$ 로 설정하였다.

연구결과

근육 활성도

전완근, 상완이두근의 경우, 손으로 오르기, 다리 꼬아 오르기, 발 걸어 오르기 유형의 손으로 근 활성도가 15~23%씩 줄어드는 것을 확인하였다(Table 2, Figure 3). 특히 손으로 오르기 유형은 발 걸어 오르기에 비하여 두 근육 모두에서 30~35% 더 큰 근 활성도를 나타내었고 통계적으로도 유의한 차이가 나타났다( $p < .01$ ).

대흉근은 손으로 오르기와 다리 꼬아 오르기에 비하여 발 걸어 오르기가 약 20% 정도 덜 사용하는 것으로 나타났고, 또한 광배근은 손

Table 2. Muscle activity by type of climbing (n=16) (Unit : %MVC)

Muscle activity	Type of climbing (M±SD)			Mean±SD	F-value	Post-hoc
	Hand	Cross leg	Foot hooking			
Forearm	71.4±17.6	58.4±23.6	46.3±19.6	58.7±22.8	5.655**	A>C
Biceps brachii	66.3±17.5	52.3±24.1	42.8±16.5	53.8±21.9	5.383**	A>C
Pectoralis major	72.0±10.9	71.3±12.3	56.6±23.7	66.6±18.1	4.05	
Latissimus dorsi	56.4±20.3	45.9±19.3	46.9±18.3	49.7±19.9	1.336	
Rectus abdominis	68.9±16.3	66.1±16.6	56.4±14.4	63.8±16.7	2.576	
Rectus femoris	37.2±19.5	19.9±12.6	31.2±18.7	29.4±18.6	3.917*	A>B
Adductor	29.7±19.0	46.3±16.3	24.7±13.9	33.5±18.9	7.05**	B>A, B>C
Gastrocnemius	21.0±14.7	23.7±13.6	27.2±17.9	24.0±15.7	0.602	
Mean±SD	52.8±25.8	48.0±24.8	41.5±21.6			

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$   
 A : Hand climbing, B : Cross leg climbing, C : Foot hooking climbing

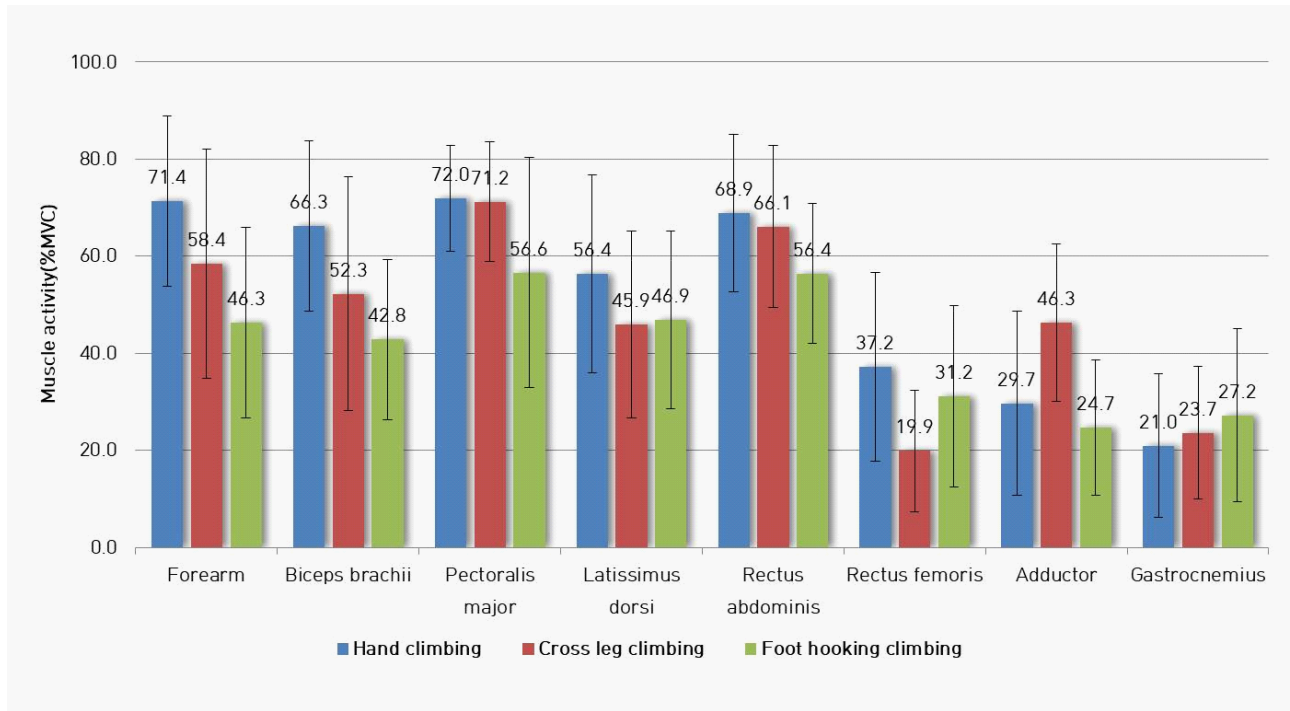


Fig. 3. Muscle activity by type of climbing

(Unit: %MVC)

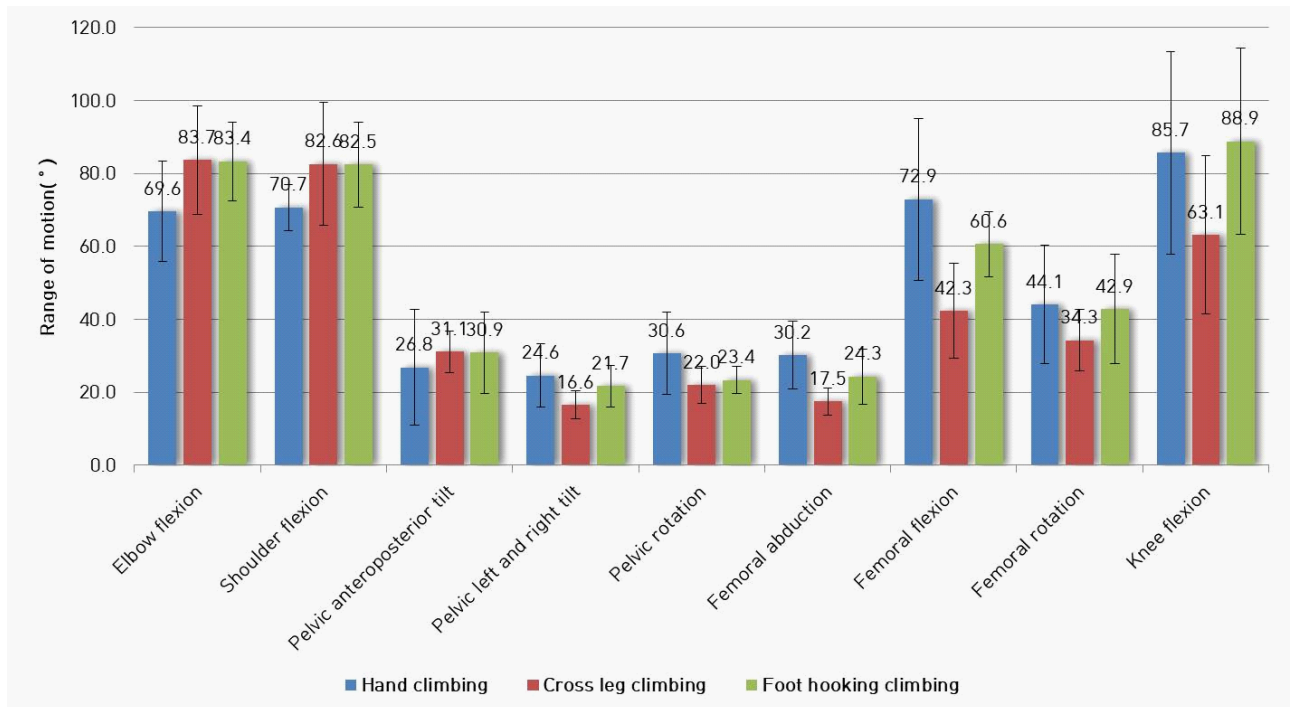


Fig. 4. Joint range of motion by type of climbing

(Unit: °)

으로 오르기에 비하여 다리 꼬아 오르기와 발 걸어 오르기는 약 20% 정도 덜 사용하는 것으로 나타났으나 통계적으로 유의하지는 않았다. 대퇴직근을 가장 덜 사용하는 유형은 다리 꼬아 오르기였고 손으

로 오르기보다 약 50% 덜 활성화되어 유의한 차이가 발생하였다 ( $p < .05$ ). 반면에 내전근을 제일 많이 사용하는 유형은 다리 꼬아 오르기로 손으로 오르기와 약 35%, 발 걸어 오르기와 약 47% 더 많이 활

**Table 3.** Joint range of motion by type of climbing (n=16)

(Unit : °)

Joint ROM	Type of climbing (M±SD)			Mean±SD	F-value	Post-hoc
	Hand	Cross leg	Foot hooking			
Elbow flexion	69.6±13.8	83.7±14.9	83.4±10.8	78.9±14.8	5.455*	B, C>A
Shoulder flexion	70.7±6.3	82.6±16.8	82.5±11.6	78.6±13.5	4.594*	B, C>A
Pelvic anteroposterior tilt	26.8±15.8	31.1±5.7	30.9±11.2	29.6±11.8	0.638	
Pelvic left and right tilt	24.6±8.6	16.6±3.8	21.7±5.7	21.0±7.2	6.177*	A, C>B
Pelvic rotation	30.6±11.3	22.0±5.1	23.4±3.7	25.3±8.4	5.868*	A>B
Femoral abduction	30.2±9.3	17.5±3.7	24.3±7.5	24.0±8.9	11.701**	A>B, C>B
Femoral flexion	72.9±22.2	42.3±13.1	60.6±8.9	58.6±20.1	14.333**	A>B, C>B
Femoral rotation	44.1±16.2	34.3±8.4	42.9±15.0	40.4±14.3	2.291	
Knee flexion	85.7±27.8	63.1±21.7	88.9±25.5	79.2±27.6	4.678*	A>B, C>B
Mean±SD	50.6±27.7	43.7±27.8	50.9±29.4			

\* $p<.05$ , \*\* $p<.01$ 

A : Hand climbing, B : Cross leg climbing, C : Foot hooking climbing

동하고 각각 통계적으로 유의한 차이가 나타났다( $p<.05$ ,  $p<.01$ ).

손으로 오르기, 다리 꼬아 오르고 발 걸어 오르기의 8개 근육들의 평균 근 활성도를 산출한 결과, 손으로 오르기에 비하여 다리 꼬아 오르는 약 10% 근 활성도가 작았고, 발 걸어 오르기는 약 21% 낮은 근 활성도를 나타냈다. 또한 8개 근육별 평균 근 활성도를 산출하여 각 밧줄 오르기 유형과 비교한 결과, 손으로 오르기는 내전근과 비복근을 제외한 모든 근육에서 평균 이상의 근 활성도를 보였고, 발 걸어 오르기는 대퇴직근과 비복근을 제외한 모든 근육에서 평균 이하의 근 활성도가 나타났다.

### 관절 가동범위

(Table 3), (Figure 4)에 각 관절 가동범위를 나타내었다. 팔꿈치 굴곡 가동범위와 어깨 굴곡 가동범위는 손으로 오르기가 다리 꼬아 오르기, 발 걸어 오르기에 비하여 약 15~17% 가량 통계적으로 유의하게 작은 것으로 나타났다( $p<.05$ ).

골반 전후방경사 가동범위는 손으로 오르기가 다리 꼬아 오르고 발 걸어 오르기에 비하여 약 14% 정도 작지만 통계적으로 유의한 차이가 나타나지는 않았다. 그러나 손으로 오르기의 골반 경사각도 최소치 평균값이  $-35.2\pm 11.6^\circ$ , 다리 꼬아 오르기  $-34.6\pm 6.9^\circ$ , 발 걸어 오르기  $-34.4\pm 14.5^\circ$ 를 나타냈고, 최대치 평균값은 각각  $-8.4\pm 10.7^\circ$ ,  $-3.5\pm 6.3^\circ$ ,  $-3.5\pm 6.5^\circ$ 를 나타내 골반의 경사는 동작 전 구간에서 전방경사를 유지하는 것으로 나타났다.

골반 좌우측경사 가동범위는 다리 꼬아 오르기가 손으로 오르고 발 걸어 오르기에 비하여 통계적으로 유의하게 약 23~32% 정도 작은 것으로 나타났다( $p<.05$ ). 골반 회전 가동범위는 손으로 오르기가 다리 꼬아 오르기보다 약 28% 유의하게 커서( $p<.05$ ), 다리 꼬아 오르거나 발 걸어 오르기보다 더 크게 골반을 회전시킨 것으로 나타났다.

대퇴 외전과 대퇴 굴곡 가동범위는 손으로 오르기, 발 걸어 오르기, 다리 꼬아 오르기의 순으로 컸으며, 다리 꼬아 오르기가 손으로 오르고 발 걸어 오르기보다 유의하게 작은 가동범위를 보였다( $p<.01$ ,  $p<.05$ ).

무릎 굴곡 가동범위는 발 걸어 오르기, 손으로 오르기, 다리 꼬아

오르기의 순으로 크게 나타났고, 발 걸어 오르고 다리 꼬아 오르는 약 29%의 차이가 나타났으며( $p<.05$ ), 손으로 오르고 다리 꼬아 오르기 역시 약 26%의 차이로 유의한 차이를 보였다( $p<.05$ ).

다리 꼬아 오르는 골반 이하 하지의 움직임을 제한하는 동작들 때문에 골반 좌우측경사, 골반 회전, 대퇴 외전, 대퇴 굴곡, 대퇴 회전, 무릎 굴곡의 가동범위가 다른 유형에 비하여 작게 나타났다.

### 논의

실험대상자 16명의 밧줄 오르기 유형별 시작 이벤트부터 종료 이벤트까지 구간의 평균 근육 활성도 양상과 각 관절의 굴곡, 외전, 회전 각도 최소값과 최대값의 차이로 가동범위를 살펴본 결과, 실험대상자마다 동원 근육별 힘 발현 등의 차이가 다소 있었다.

손으로 오르는 다리 꼬아 오르기보다 약 20% 정도 전완근과 상완이두근을 더 동원하고, 또한 손으로 오르는 발 걸어 오르기보다 약 35% 정도 전완근과 상완이두근을 더 동원하는 것으로 나타났다. Koukoubis et al.(1995)은 암벽등반과 같은 오르기 동작에서 당기는 작업(pull-up)은 수지굴근과 상완요근에서 가장 큰 근전도를 발생시킨다고 보고하였다. 또한 전완근이 쉽게 피로해지는데, 그 이유를 잦은 등척성 수축 반복에 의한 혈중 젖산의 증가와 연관지었다(Watts et al., 1996). 한편 반복적인 전완근 트레이닝은 강하고 효율적인 수근굴근을 키울 수 있고, 밧줄 오르기 손 동작과 같은 등척성 동작에 있어서의 회복에도 도움을 준다고 보고하였다(Ferguson & Brown, 1997). Giles et al.(2006)은 지칠 때까지 꼭 잡고 있는 지속수축은 일반인과 엘리트 암벽등반 선수가 다를 바 없지만, 엘리트 선수는 반복되는 전완의 등척성 수축 수행을 피로 없이 수행하는 뛰어난 능력을 지녔다고 보고하였다.

즉, 밧줄 오르기에서 쉽게 피로해지는 전완근을 보조하기 위해서, 손으로 오르기 대신 다리 꼬아 오르거나 발 걸어 오르기 같은 방법으로 줄에 매달리는 근력을 분산시키는 전략을 사용할 수 있다. 또한 전완근 강화 트레이닝을 통해 전완근의 피로를 늦추고 효율적인 동작을 발휘하도록 노력할 필요가 있다.

한편, 대흉근은 손으로 오르고 다리 꼬아 오르기에 비하여 발 걸어 오르기가 약 20% 적게, 광배근은 손으로 오르기보다 다리 꼬아 오르고 발 걸어 오르기가 약 20% 적게 근 활성도를 나타내는 것으로 관찰되었다. Saul et al.(2019)은 팔 굽혀 매달리기의 시간이 긴 것이 엘리트 암벽등반 선수의 대표적 특징이라고 하며, 부상을 방지하기 위하여 어깨와 전완 근육군 중 길항근과 고정근의 역할이 매우 중요하다고 보고하였다. Grant et al.(1996) 역시 엘리트 선수가 견갑 지구력, 손가락 악력 및 고관절 유연성이 우수하다고 하였다.

견갑 부위의 대표적 근육이면서 몸을 위로 끌어올리는 주동근 역할을 하는 광배근과 고정근 역할의 대흉근 지구력을 강화시키기 위해서 역시 트레이닝이 필요하다. 전완근과 마찬가지로 손으로 오르기 대신 다리 꼬아 오르고 발 걸어 오르기를 통해 근력을 분산시킬 수 있다.

팔꿈치 굴곡 가동범위와 어깨 굴곡 가동범위가 손으로 오르기에 비해 다리 꼬아 오르고 발 걸어 오르기가 약 15~17% 가량 유의하게 작은 것은, 몸의 무게중심을 위로 어떤 힘을 통하여 올릴 것이냐와 관련이 깊은 것으로 보여진다. 손으로 오르는 전완근, 상완이두근, 대흉근의 도움을 받아 주동근인 광배근으로 몸을 위로 당기는 온전히 상체의 근력 작용을 통해 무게중심을 올리고, 하체 쪽에서는 복직근과 대퇴직근을 수축시켜 생기는 다리 각운동량의 반작용으로 무게중심을 올리는 과정에 도움을 주는 것으로 관찰하였다. 하지만 다리 꼬아 오르거나 발 걸어 오르기에 비하여 더 큰 힘이 소모되므로 팔꿈치 굴곡 가동범위와 어깨 굴곡 가동범위가 작을 수 뿐이 없고, 이는 밧줄을 잡는 손의 간격이 좁은 것으로 이어지는 것으로 나타났다.

Muscle & Motion(2018)에 따르면 행잉 레그 레이즈의 분석을 통해, 대퇴를 90도 이상으로 들기 위해서는 복직근을 수축시켜야 한다고 보고하였다. 철봉이나 밧줄에 그냥 매달려 있을 때 아무 힘을 주지 않으면 골반이 전방경사 자세가 되어 척추기립근이 계속 수축상태가 되어 피로를 느낄 수 있다. 척추가 불균형 상태에 놓이게 되면 우리 몸은 자발적으로 균형을 회복하려고 시도하며 이러한 작용들을 보상(compensation)이라 하는데 자세를 유지하기 위해 다리와 몸통의 근육의 부적절한 사용이 늘어난다(Lagrone et al., 1988).

이 연구에서 골반 전후방경사 가동범위는 손으로 오르기가 다리 꼬아 오르고 발 걸어 오르기에 비하여 작은 것으로 나타났지만 통계적으로 유의한 차이가 있는 것은 아니었다. 세 가지 오르기 방법 모두 골반 전방경사의 형태가 나타났는데, 손으로 오르기가 골반 전방경사를 더 크게 유지하는 것으로 나타났다. 골반 전방경사 값이 커질수록 증력선은 엉덩관절의 뒤로 지나가게 되고(Lazennec et al., 2007), 이러한 골반의 경사 자세는 고관절 및 척추 신근의 약화를 유발하여 허리의 통증을 야기하며 자세의 불균형을 유발한다고 하였다(Kong et al., 2012).

따라서 골반 후방경사 자세에 가깝게 자세를 유지하기 위하여 복직근을 수축시키는 강화 트레이닝이 필요하다. 이러한 상황은 야외 밧줄 오르기 시 바람이 많이 불고 오래 매달려 지칠 때 다른 곳보다 척추기립근이 매우 아프다고 하는 경험자들의 의견과 상관이 있는데, 복직근의 피로로 인하여 골반 후방경사 자세를 만들어주지 못해 척추기립근의 피로도에 영향을 주는 것으로 유추한다.

실험대상자 간 골반 전후방경사의 표준편차가 상당히 큰 것으로 나타났다. 복직근을 많이 동원했던 실험대상자들은 손으로 오르기 시 골반 후방경사를 취해 비교적 안정된 움직임으로 오르기를 수행하였고 골반 전후방경사의 가동범위 또한 12~14°로 비교적 작았다. 한편 일부 실험대상자는 손으로 오르기 시 대퇴 굴곡과 무릎 굴곡 가동범위가 매우 크고, 골반 좌우측경사와 회전 가동범위가 커 다리의 흔들림

정도가 매우 큼을 영상으로 확인하였다. 일부 실험대상자는 골반 전후방경사의 가동범위가 56~75°까지 나타나기도 하였다.

대퇴직근의 큰 활성을 보여준 손으로 오르고 발 걸어 오르기는 수치는 비슷해도 활용방법에 큰 차이가 나타났다. 손으로 오르기에서는 다리를 들어올리기 위해 대퇴직근을 사용하는데, 무릎을 굽혀 다리를 들어올리는 각운동량과 반응을 이용하여 몸을 들어올리는데 일조하고, 대퇴 굴곡의 최고점에서 무릎을 펴서 관성모멘트를 크게 하여 더 이상 올라가지 못하게 균형을 잡고 다른쪽 발과 교차하면서 각운동량 생성을 반복하였다. 한편 발 걸어 오르기에서는 밧줄에 건 발의 마찰력을 이용하여 밧줄을 딛고 일어서기 위하여 무릎을 펴기 위한 용도로 대퇴직근의 수축력을 활용하는 것으로 판단된다.

밧줄 오르기 동작 전체에서, 전완근, 상완이두근, 대흉근, 광배근 등의 상체 근육과 복직근, 대퇴직근 등의 코어 근육이 많이 사용된다는 것은, 오르기 동작을 잘 하기 위해서는 해당 근육들을 더욱 강화해야 한다는 중요한 시사점을 갖는다. 따라서 위의 결과를 토대로 상체 근육 중 당기기와 관련된 근육의 단련, 코어 근육 중 다리를 들어올리는 근육의 단련에 효과적인 프로그램을 별도로 제작하여 단련할 필요가 있다. 또한 손으로 오르기 외 다리 꼬아 오르고 발 걸어 오르기의 특징을 인지하고 전략적으로 활용한다면 군의 전투력 향상에 많은 도움이 될 것이라 판단한다.

## 결론 및 제언

이 연구는 밧줄 오르고 관련된 기능적 움직임을 탐색하기 위하여, 손으로 오르기, 다리 꼬아 오르기, 발 걸어 오르기의 유형별 동작의 근육 활동, 관절 가동범위를 동작 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 손으로 오르기에 비하여 다리 꼬아 오르고 발 걸어 오르는 상체의 근력을 상대적으로 적게 동원한다.
2. 모든 유형 밧줄 오르기에서 골반 전방경사의 형태가 나타나 허리의 통증을 유발할 수 있으므로 골반 후방경사에 가깝게 자세를 유지하기 위한 복직근 단련이 필요하다.
3. 모든 유형 밧줄 오르기 동작에서 전완근, 상완이두근, 대흉근, 광배근 등의 상체 당기기 관련 근육과 복직근, 대퇴직근 등 다리를 들어올리는 근육이 많이 동원되므로 해당 근육군의 단련이 필요하다.

장애물 극복 시 사다리가 없을 때 쉽게 구할 수 있는 재료는 밧줄이다. 밧줄을 사용하여 수직 오르기 시 손으로 오르기, 다리 꼬아 오르기, 발 걸어 오르기의 손으로 용이하게 오를 수 있는데, 추가적으로 밧줄에 매듭을 만들어 밧줄을 오르거나 사다리를 오르는 것과 같은 효과를 얻을 수 있고, 수직벽면이나 가파른 경사벽에 달린 밧줄을 오를 때는 줄을 잡아당기면서 발로 벽면을 미는 방법으로 오를 수 있다.

밧줄을 오르는 동작 전체에서 전완근, 상완이두근, 대흉근, 광배근 등의 당기는 근육이 중요한 역할을 하기 때문에, 이러한 장애물 극복을 위해서는 코어 및 하체 근육의 단련과 함께 상체 당기는 근육군의 단련이 필요하다. 특히 준비체조에 해당 근육군의 유연성 및 근력 강화를 위한 동작들을 삽입하여 단련한다면 더 좋은 수행 성과를 얻을 수 있고, 이는 군의 전투력을 효율적으로 향상시키는 데 도움이 될 것이다.

## 참고문헌

- Armstrong, T. J., Young, J., Woolley, C., Ashton-Miller, J., & Kim, H. (2009). Biomechanical aspects of fixed ladder climbing: Style, ladder tilt and carrying. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 53(14), 935-939.
- Ferguson, R. A., & Brown, M. D. (1997). Arterial blood pressure and forearm vascular conductance responses to sustained and rhythmic isometric exercise and arterial occlusion in trained rock climbers and untrained sedentary subjects. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 76(2):174e180.
- Giles, L. V., Rhodes, E. C., & Taunton, J. E. (2006). The physiology of rock climbing. *Sports Med*, 36(6), 529-45.
- Grant, S., Hynes, V., Whittaker, A., & Aitchison, T. (1996). Anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of elite and recreational climbers. *J Sports Sci*, 14(4), 301-9.
- Hwang, S. S., & Min, B. I. (2020). The relationship between the sleep deprivation and the physical fitness and shooting capacity of soldiers. *The Korean Journal of Sport*, 18(3), 703-711.
- Kim, C. Y. (2020). *Effects of lumbar segmental and dynamic neuromuscular stabilization exercise on radiologic evaluations, functional movement and lumbar-cervical disability index in lumbar kyphosis female office worker*. Dankook univ. unpublished doctoral thesis.
- Kim, J. Y., Kim, J. H., & Lee, J. H. (2016). Effect of 4-week combined exercise program with creatine supplementation on body composition, physical fitness, and urine creatinine in soldiers. *Journal of the Korean Society for Wellness*, 11(1), 231-241.
- Kim, K. B. (2018). *A study on combat fitness training and evaluation methods considering the characteristics of the Korean military*. Research report, Hwarangdae research institute of Korea military academy.
- Kim, T. W., Kong, S. J., Kil, S. G., Park, J. C., Jun, H. J., Song, J. H., ... & Chae, W. S. (2013). *Electromyographic Analysis*. Seoul : Hanmi medical publishing.
- Kong, J. C., Moon, S. J., Jo, D. C., Ko, Y. S., Song, Y. S., & Lee J. H. (2012). Study on pelvic parameters and biomechanical characteristics of foot in patients with chronic low back pain. *Korean Journal of Oriental Physiology & Pathology*, 26(1), 81-87.
- Koukoubis, T. D., Cooper, L. W., Glisson, R. R., Seaber, A. V., & Feagin, J. A. Jr. (1995). An electromyographic study of arm muscles during climbing. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 3(2), 121-4.
- Lazennec, J. Y., Riwan, A., Gravez, F., Rousseau, M. A., Mora, N., Gorin, M., & Saillant, G. (2007). Hip spine relationships: application to total hip arthroplasty. *Hip International*, 17(5\_ suppl), 91-104.
- Lee, S. H., & Park, T. W. (2005). The patent history of safety ladder. *Journal of Korea Intellectual Patent Society*, 7(1), 23-33.
- Muscle and Motion (2018). *Hanging Leg Raises* (Hip Flexion). <https://www.youtube.com/watch?v=RuIdJSVTKO4&list=FL0du-IzWuYaVf9QTg10nAQ&index=6>
- Saul, D., Steinmetz, G., Lehmann, W., & Schilling, A. F. (2019). Determinants for success in climbing: A systematic review. *J Exerc Sci Fit*, 17(3), 91-100.
- Song, C. S., Kwon, Y. H., Kim, D. R., & Kang, K. S. (2013). Improvement measures to prevent fall accidents from ladders at construction sites. *Proceedings of Korea Safety Management & Science Semiannual Meeting*, 2013(1), 225-234.
- Watts, P. B., & Drobish, K. M. (1998). Physiological responses to simulated rock climbing at different angles. *Med Sci Sports Exerc*, 30(7), 1118-22.
- Watts, P., Newbury V., & Sulentic J. (1996). Acute changes in handgrip strength, endurance, and blood lactate with sustained sport rock climbing. *J Sports Med Phys Fitness*, 36(4):255-60.
- Zampagni, M. L., Brigadoi, S., Schena, F., Tosi, P., & Ivanenko, Y. P. (2010). Idiosyncratic control of the center of mass in expert climbers. *Scand J Med Sci Sports*, 21(5), 688-99.

## 밧줄 오르기의 기능적 움직임 탐색 연구

최치선<sup>1</sup>, 조원제<sup>2</sup>, 김경배<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 육군사관학교 부교수

<sup>2</sup> 육군사관학교 조교수

<sup>3</sup> 육군사관학교 교수

[목적] 이 연구는 밧줄 오르기와 관련된 기능적 움직임을 탐색하는 것을 목적으로 한다.

[방법] 16명의 건강한 젊은 남성 실험대상자를 상대로 손으로 오르기, 다리 꼬아 오르기, 발 걸어 오르기의 방법을 사용하여 밧줄 오르기 실험을 실시하였다. 근육의 활동, 관절 가동범위를 EMG와 IMU 센서를 이용하여 측정 및 분석하였다.

[결과] 손으로 오르기에 비하여 다리 꼬아 오르기와 발 걸어 오르기는 전완근과 상완이두근의 활성도가 작았고( $p < .01$ ), 대퇴직근 활성도는 손으로 오르기에 비하여 다리 꼬아 오르기가 작았다( $p < .05$ ). 다리 꼬아 오르기의 내전근 활성도는 다른 유형들에 비해 높은 것으로 나타났다( $p < .01$ ). 팔꿈치와 어깨 굴곡 가동범위는 손으로 오르기가 다른 유형들보다 작았으며( $p < .05$ ), 골반, 대퇴 및 무릎의 가동범위는 다리 꼬아 오르기가 가장 작았다( $p < .05$ ).

[결론] 오르는 동작 전체에서 전완근, 상완이두근, 대흉근, 광배근 등의 당기는 근육이 중요한 역할을 하기 때문에, 코어 및 하체 근육의 단련과 함께 상체 당기는 근육군의 단련이 필요하다.

### 주요어

밧줄 오르기, 근육 활동, 관절 가동범위, 기능적 움직임