KJSB Korean Journal of Sport Biomechanics 2020; 30(1): 103-109
http://dx.doi.org/10.5103/KJSB.2020.30.1.103
http://e-kjsb.org eISSN 2093-9752

ORIGINAL

Surface EMG Verification according to the Electrode Location in Biceps Brachii during Arm Curl Isometric Exercise

암컬 등척성 운동 시 상완이두근에서의 EMG 전극 위치에 따른 근 활성 검증

Hyo Eun Park[1], Ah Reum Hong[1], Jae Moo So[2]

[1]Department of Physical Education, Graduate School of Konkuk University, Seoul, South Korea
[2]Department of Physical Education, College of Education, Konkuk University, Seoul, South Korea

Received : 19 February 2020
Revised : 06 March 2020
Accepted : 09 March 2020

Corresponding Author
Jae Moo So
Department of Physical Education, College of Education, Konkuk University, 120, Neungdong-ro, Gwangjin-go, Seoul, 05029, South Korea
Tel : +82-10-3202-3828
Fax : +82-2-453-6326
Email : human@konkuk.ac.kr

Objective: The purpose of this study is to compare the muscle activity by electrode location in the biceps brachii during the arm curl isometric exercise and to provide the basic data needed to develop the proper electrode location of the biceps brachii based on the study results comparing the muscle activity by the angle of the elbow joint.

Method: 17 adult males (Age: 21.50±4.63 yrs, height: 175.29±5.97 cm, weight: 63.79±15.31 kg, upper-arm length: 30.10±1.22 cm) participated in the study. In the arm curls isometric exercise, the experiment was divided into 1st and 2nd steps to compare muscle activity according to electrode location in the biceps brachii and muscle activity according to elbow angle change. In the first experiment, the surface electrode was attached at one-third point on the line from medial acromion to cubital fossa, according to the measurement method indicated by SENIAM. The elbow angle was set to 90°. In the second experiment, according to the proposed method of this study, the electrodes were separated at one finger's width in the left and right direction at one-third point on the line from medial acromion to cubital fossa, attached at the long head and short head. From the long head electrode, in about a width of two fingers in proximal direction, a total of three electrodes were attached at the myotendinal junction of the long head. The elbow angles were set as 70°, 90°, and 110°, and the isometric exercise (100% MVC) for 5 seconds was maintained with keeping the forearm and the rope to be 90° for the first and second experiments.

Results: During the arm curl isometric exercise, there was no significant difference in SH and SENIAM proposition location proposed by this researcher. LH was shown to be lower than the muscle activity of the location proposed by SENIAM and there were significant (p<.01) differences. MJ appeared lower than the muscle activity of the location proposed by SENIAM and there were significant (p<.001) differences. The muscle activity by the elbow joint angle of SH in the biceps brachii was shown in large order of 70°<90°<110°, but there was no significant difference. The muscle activity by the elbow joint angle of LH was shown in large order of 90°<70°<110°, but there was no significant difference. The muscle activity by the elbow joint angle of MJ was shown in large order of 110°<90°<70°, but there was no significant difference.

Conclusion: During the arm curl isometric exercise of the biceps brachii, it is judged appropriate to attach surface electrodes to the location proposed by SENIAM.

Keywords: Arm curl, EMG, Electrodes, Biceps brachii

Copyright © 2020 Korean Journal of Sport Biomechanics
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 noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

INTRODUCTION

현대 사회는 기계화되고 자동화된 편리한 생활로 인해 신체 활동이 줄어들면서 건강 증진을 위한 신체 운동을 중요하게 생각하는 사람들이 늘고 있다. 건강증진을 위한 저항 운동 기구를 이용한 근력 운동은 근육의 수축, 팽창을 반복하여 근육을 발달시킬 수 있고 날씨와 시간적 제약이 적어 많은 사람들이 이용하고 있다. 그 중 암컬 운동 기구(Arm Curl Machine)는 팔꿈치를 회전축으로 전완을 끌어당기는 구조로서 상완이두근(Biceps Brachii)을 발달시킬 수 있는 운동 기구이다(Vella, 2012). 상완이두근은 근섬유가 방추형으로 생긴 방추형근(Fusiform muscle)으로 장두(Long head: LH)와 단두(Short head: SH), 두 갈래를 가진 근육이다. 일상생활에서는 물건 집어들기, 입으로 음식 가져오기와 스포츠에서는 권투, 노젓기, 카누경기 등에서 이 근육을 많이 사용한다. 근육의 활동은 근전도(Electromyography: EMG)를 이용하여 측정할 수 있는데 근전도 기술은 근육 평가를 위한 도구로서 높은 잠재력을 지니고 있어 다양한 스포츠 활동의 평가와 의료 임상분야에서 사용되고 있다. 근전도는 바늘전극법(Needle Electromyography: NEMG)과 표면 전극법(Surface Electromyography: SEMG)이 있는데 표면 근전도가 비침습적 용이성으로 인해 운동역학 연구에 더욱 폭넓게 사용되고 있다.

표면 근전도는 두 개의 전극을 한 근육에 부착하여 근섬유막을 따라 전도되는 운동단위 활동전위(Motor Unit Action Potential: MUAP)를 차동 증폭 원리로 얻는 방식이기(Jeong & Sin, 2005) 때문에 전극이 적절한 위치에 배치되는 것이 중요하다(Ganesh, 2012). 표면 근전도 전극 위치에 대한 선행 연구들에서 Bilodeau, Cincera, Arsenault & Gravel (1997)은 단두 위에 장축으로 배치하였고 Orizio, Gobbo, Diemont, Esposito & Veicsteinas (2003)은 근복(Muscle of Belly) 위에 배치하였으며 Lange, Weerden & Hoeven (2002)은 신경분포구역과 원위 힘줄 사이에 근섬유 방향과 평행하게 배치하는 등 연구자들마다 전극의 위치를 다르게 배치하고 있었다. 이렇게 다양한 전극 위치에 대한 표준화를 위해 유럽에서 SENIAM (Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscle) 연합을 만들어 프로젝트 연구를 진행하였고 현재까지 많은 연구자들이 SENIAM 에서 제시하는 근전도 실험 방법을 따르고 있다. SENIAM 프로젝트 연구(Hermens, Freriks, Disselhorst-klug & Rau, 2000)에 따르면 SEMG 표면 전극의 배치 방법은 실험 대상자의 자세를 전극 위치를 적절하게 결정할 수 있도록 준비시키고 해부학적 지점을 결정한 후 연결해서 운동종판(end-plate)과 원위 힘줄(Distal Tendon) 사이에 두 개의 전극을 근섬유 방향과 장축으로 배열해야 하며 단축으로 배열할 경우에는 힘줄이나 근육 가장자리(edge of the muscle)에서 떨어져야 한다고 했다. 상완이두근의 근 활성도를 측정할 경우 의자에 앉고 팔꿈치를 90°로 구부린 후 견봉 내측(Medial acromion)부터 팔오금(Cubital fossa)까지의 선상에서 1/3 지점에 위치해야 한다고 했다. 그러나 이것은 권장 사항일 뿐 완성되지 않았고 새로운 지식에 근거하여 정기적으로 갱신되어야 한다고 하였다. 따라서 전극 배치에 따른 세밀한 연구가 뒷받침되어야 한다.

또한 생역학적인 관점에서 보면 관절 각도의 변화는 지레팔(lever arm)의 길이와 근육의 길이를 변화시키고 이러한 변화는 근 수축력을 변화시킨다(An, Kaufman & Chao, 1989). 이점과 관련하여 Baltzopoulos & Brodie (1989)는 신체의 각 관절에서는 최적의 역학적 이점이 있는 관절 각도가 존재한다고 하였고 Kim et al. (2005)도 하지 분절 각도에 따른 수의 등척성 수축(MVIC) 시 근전도를 비교한 연구에서 관절의 각도 변화에 따라 근육의 활성도가 변한다고 하였으며 최대의 활동 전위값을 발생시키는 특정 관절 각도 혹은 분절의 상대적 위치를 밝혀내는 것이 근전도 정량화 연구에서 가장 우선적으로 이루어져야 한다고 하였다.

Kang (2013)은 주관절 각도 변화가 주관절 굴곡근의 근 활성도에 미치는 영향을 알아보고자 한 연구에서 주관절 55°에서 가장 근 활성도가 높았고, 반면 가장 강한 힘을 낸다는 90° 굴곡에서 가장 작은 근 활성도를 보임으로 주관절 굴곡근이 20% 늘어난 위치에서 가장 큰 힘을 낸다고 하였다. 또한 견관절의 휴면자세(Loose-packed position)와 액와슬링을 사용한 자세에서 주관절 굴곡 55°일 때 가장 높게 나타났으며, 두 번째로 70°, 90°에서 근 활성도가 가장 낮게 나타났다. 견관절을 체간에 붙인 자세에서는 일관된 결과는 보이지 않았지만 다른 자세에서 보다 근 활성도가 커진다고 하였다. 이렇듯 여러 연구마다 각도에 따라 상완이두근의 근 활성의 차이를 보이고 있어, 이 부분을 측정 비교해보는 연구가 필요하다고 할 수 있다.

이에 본 연구는 암컬 등척성 운동 시 상완이두근에서의 전극 위치별 근 활성도를 비교하고 주관절 각도별 근 활성을 비교한 연구 결과를 근거로 상완이두근의 적절한 전극 위치와 주관절 자세를 개발하는 데 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

METHOD

1. 연구대상

본 연구의 대상자는 상지 근골격계에 이상이 없고 우세팔이 우측인 남자 성인 17명을 대상으로 선정하였다. 피험자들마다 비교 가능하도록 내측 견봉부터 팔오금까지의 길이를 측정하였고 신체적인 특성은 (Table 1)과 같다. 실험에 참여하기 전 모든 피험자들은 실험과정에 대한 설명을 듣고 참여의사와 동의서를 작성하였다.

Table 1. Characteristics or the subjects

	Height (cm)	Weight (kg)	Age (year)	Upper arm length (cm)
M ± SD (n=17)	175.29±5.97	63.79±15.31	21.50±2.63	30.10±1.22

2. 실험도구

암컬 등척성 운동 시 상완이두근에서의 전극 위치에 따른 근 활성을 비교하기 위한 구체적인 장비는 (Table 2)과 같다.

Table 2. Experimental equipment

Equipment	Experimental equipment	Manufacturer
EMG	Telemyo DTS	Noraxon
Arm curl machine	Arm curl machine	Cybex

3. 실험방법

암컬 머신을 이용한 등척성 운동 시 상완이두근에서의 전극 위치와 주관절의 각도 변화에 따른 근 활성도를 비교하기 위해 1차와 2차로 나누어 실험하였다. 근전도 측정 전 피험자들은 민소매 티셔츠를 입고 준비 운동을 실시한 후 근육의 측정 오류를 방지하기 위해 털을 면도기로 제거하고 알코올 솜으로 닦아내었다.

상완이두근에서의 전극 위치 변화에 따른 근 활성도 차이를 알아보기 위해 SENIAM에서 제시하는 측정 방법에 따라 견봉 내측부터 팔오금까지 선상에서 1/3 지점에 표면 전극(HEX Dual Electrodes, Noraxon)을 장축으로 부착하고 1차 실험을 진행했다. 이 때 주관절의 굴곡 각도는 90˚로 설정하였다. 2차 실험은 본 연구자가 제시하는 방법에 따라 견봉 내측부터 팔오금까지 선상의 1/3 지점에서 좌우로 손가락 1개 너비로 띄어 장두와 단두에 부착하고 장두 전극 위치에서 근위 방향으로 손가락 2개 너비로 띄어 장두의 근건접합부(Myotendinal Junction: MJ)에 전극을 장축으로 부착하였다. 전극 부착 위치는 (Figure 2)와 같다. 주관절 각도 변화에 따른 근 활성도 차이를 알아보기 위해 주관절의 각도는 70˚, 90˚, 110˚로 설정하였고 상완이두근 외의 근육 사용을 제어하기 위해 암컬 머신에 몸통을 밀착하고 의자 높이를 실험자마다 앉은 키에 맞게 설정하였다. 실험 자세는 (Figure 1)과 같다. 1, 2차 실험 모두 본 실험은 로프를 손목에 감아 전완과 로프가 90˚가 되도록 고정한 후에 최대힘(100% MVC)으로 로프를 잡아당기는 등척성 운동을 5초 동안 유지하였다.

Figure 1. Arm curl machine

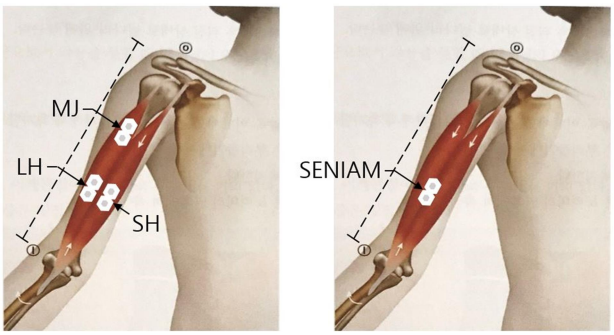

Figure 2. EMG Electrode placement

4. 자료분석

본 연구에서는 암컬 등척성 운동 수행 시 5초 동안 얻어진 자료에서 처음과 끝의 1초를 제외한 안정화된 3초의 근 활성을 분석하였다. EMG 신호의 주파수 대역폭(Bandwidth) 범위는 20~350 Hz 사이로 설정하였고 절대값을 구하기 위하여 전파정류(Full-Wave Rectification)한 다음 이어서 Smoothing 하였다.

5. 통계처리

본 연구의 통계처리는 SPSS 24.0 (IBM, USA)을 이용하였고, 전극의 위치에 따른 근 활성도 비교와 주관절 각도에 따른

근 활성도 비교를 위해 independent *t*-test와 반복측정분석(ANOVA with repeated measure)을 사용하였다. 유의차이에 따른 상호작용은 단순사후검증을 실시하였으며 모든 통계치의 유의수준은 $p<.05$로 설정하였다.

RESULTS

본 연구는 암컬 등척성 운동 시 상완이두근의 SENIAM에서 제시하는 전극 위치의 근 활성도와 본 연구자가 제시하는 전극 위치의 근 활성도를 비교하고 본 연구자가 제시하는 전극 위치의 주관절 각도별 근 활성도를 비교하였다. 총 2회의 실험 데이터를 가지고 독립표본 검정과 일원배치 반복측정을 통하여 비교 분석하였다.

1. 주관절 각도 90°에서 SH와 SENIAM의 근 활성도

암컬 등척성 운동 시 SH와 SENIAM의 근 활성도를 살펴보면 (Table 3, Figure 3)과 같다. SH와 SENIAM의 근 활성도는 649.94±253.45 μV와 620.82±178.23 μV로 SH의 근 활성도 값이 높은 차이로 나타났으나, 유의미한 차이는 없었다.

Table 3. Muscle activity of SH and SENIAM at 90° of elbow joint (unit: μV)

	SH	SENIAM	*t*	*p*
90°	649.94±253.45	620.82±178.23	-.387	.701

*$p<.05$, **$p<.01$, ***$p<.001$
SH: Short Head, SENIAM: electrode location by SENIAM

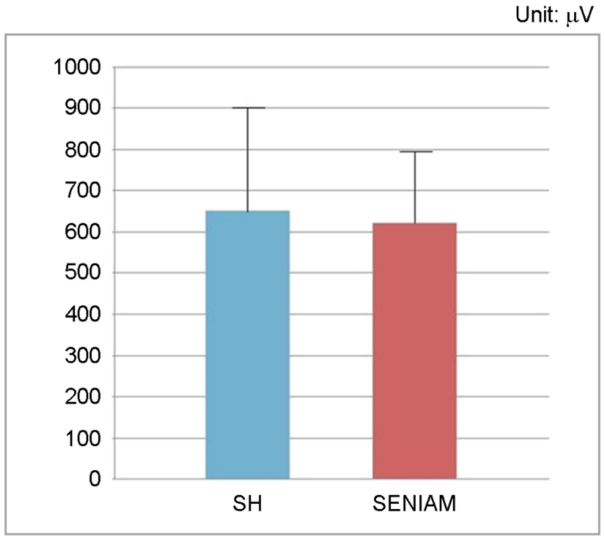

Figure 3. Muscle activity of SH and SENIAM at 90° of elbow joint

2. 주관절 각도 90°에서 LH와 SENIAM의 근 활성도

암컬 등척성 운동 시 LH와 SENIAM의 근 활성도를 살펴보면 (Table 4, Figure 4)과 같다. LH와 SENIAM의 근 활성도는 649.94±253.45 μV와 620.82±178.23 μV로 유의한 차이를 보였다($p<.01$).

Table 4. Muscle activity of LH and SENIAM at 90° of elbow joint (unit: μV)

	LH	SENIAM	*t*	*p*
90°	443.00±185.70	620.82±178.23	2.484	.008**

*$p<.05$, **$p<.01$, ***$p<.001$
LH: Long Head, SENIAM: electrode location by SENIAM

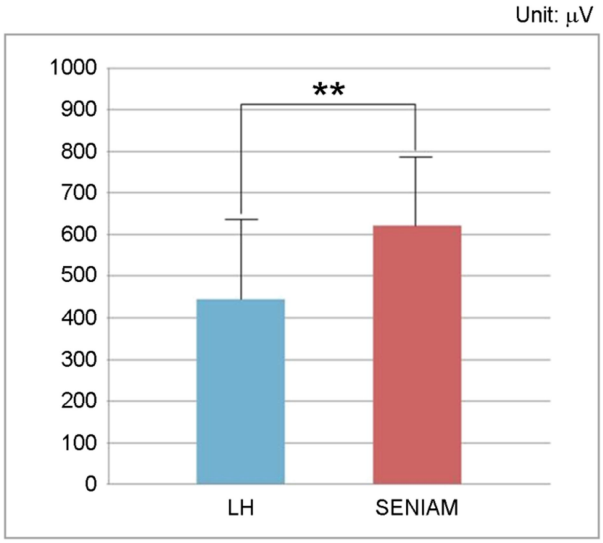

Figure 4. Muscle activity of LH and SENIAM at 90° of elbow joint

3. 주관절 각도 90°에서 MJ와 SENIAM의 근 활성도

암컬 등척성 운동 시 MJ와 SENIAM의 근 활성도를 살펴보면 (Table 5, Figure 5)과 같다. MJ와 SENIAM의 근 활성도는 283.79±134.01 μV와 620.82±178.23 μV로 유의한 차이를 보였다($p<.001$).

4. 주관절 각도별 근 활성도

암컬 등척성 운동 시 상완이두근에서의 전극 각도별 전극

Table 5. Muscle activity of MJ and SENIAM at 90° of elbow joint (unit: μV)

	MJ	SENIAM	*t*	*p*
90°	283.79±134.01	620.82±178.23	6.232	.000***

*p<.05, **p<.01, ***p<.001
MJ: Myotendinal Junction, SENIAM: electrode location by SENIAM

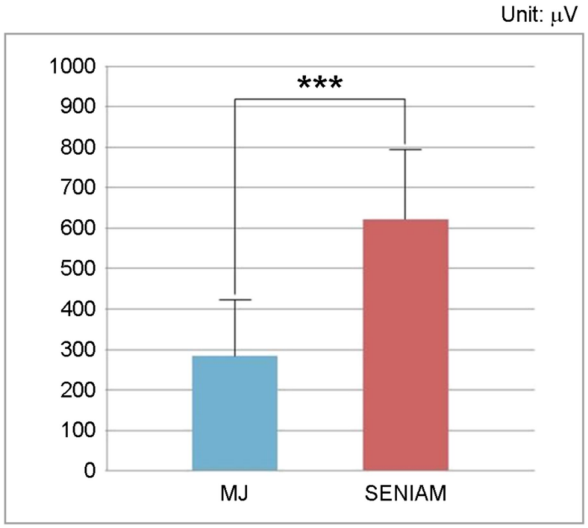

Figure 5. Muscle activity of MJ and SENIAM at 90° of elbow joint

위치에 따른 근 활성을 살펴보면 (Table 6, Figure 6)와 같다. SH의 각도별 근 활성도는 70°<90°<110° 순으로 크게 나타났지만 유의미한 차이는 없었다. LH의 각도별 근 활성도는 90°<70°<110° 순으로 크게 나타났지만 유의미한 차이는 없었다. MJ의 각도별 근 활성도는 110°<90°<70° 순으로 크게 나타났지만 유의미한 차이는 없었다.

DISCUSSION

근육의 수축과 이완은 신경계로부터 흥분이 운동신경을 통해 운동종판(end-plate)에 전달되면 운동단위 활동전위(Motor Unit Action Potential: MUAP)가 근섬유막을 따라 전도되면서 이루어진다(Lee, 2018). 이에 따라 SENIAM의 연구(Hermens et al., 2000)에서 전통적으로 표면 전극은 '큰(Large)' 신호를 기록할 수 있는 근복(Muscle Belly) 또는 운동종판(end-plate) 영역 위에 배치되었다. 그러나 현재는 운동종판 영역이 SEMG 신호의 진폭에 큰 영향을 미친다고 하였고(Blok & Stegeman, 1997), Mathiassen & Hägg (1997)은 근섬유의 길이 방향으로 전극 위치마다 진폭이 다르다고 보고되었다.

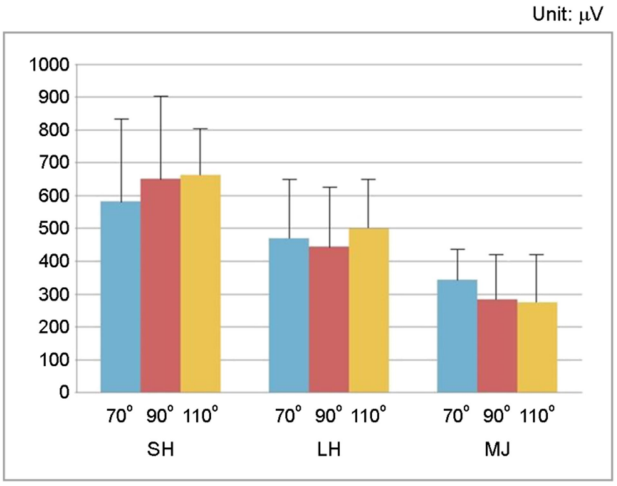

Figure 6. Muscle activity with varying elbow joint angles

상완이두근에서의 전극 위치 변화에 따른 근 활성도 비교 시 SH 근 활성도가 SENIAM 근 활성도보다 높게 나타났지만 유의미한 차이는 없었고 LH와 MJ는 SENIAM 근 활성도보다 낮게 나타났고 유의미한 차이가 있었다. 이는 암컬의 최대 동작 수행 시 주관절 굴곡 외에 견관절 굴곡 시 모음하고 전완을 회외한 상태로 힘을 작용하여 단두의 힘이 많이 요구되어 높은 근 활성도를 보인 것으로 판단된다. 상완이두근의 단두는 오훼돌기(coracoid process)에서 힘줄로 시작하고 장두는 견갑골 상관절와결절(supraglenoid)에서 시작해, 상완골의 절반 위치쯤 내려가다가 합쳐지는 모양이다. 상완이두근의 단두는

Table 6. Muscle activity with varying elbow joint angles (unit: μV)

	70°	90°	110°	*F* (*p*)	Post-hoc
SH	581.05±252.26	649.94±253.45	662.59±146.47	.658 (.523)	–
LH	469.06±183.62	443.00±185.70	499.47±155.18	.441 (.646)	–
MJ	343.47±95.24	283.79±134.01	274.00±148.18	1.472 (.240)	–

*p<.05, **p<.01, ***p<.001
SH: Short Head, LH: Long Head, MJ: Myotendinal Junction

견관절 굴곡, 주관절 굴곡, 전완 회외, 팔의 모음 작용을 하고 장두는 견관절 굴곡, 팔의 벌림, 어깨 탈구 방지 기능을 한다(Calais-Germain, 2009).

상완이두근에서 SH의 주관절 각도별 근 활성도는 70°<90°<110° 순으로 더 크게 나타났지만 유의미한 차이는 없었고, LH의 주관절 각도별 근 활성도는 90°<70°<110° 순으로 더 크게 나타났지만 유의미한 차이는 없었으며 MJ의 각도별 근 활성도는 110°<90°<70° 각도 순으로 크게 나타났지만 유의미한 차이는 없었다. 최대힘은 주관절 90° 굽힘과 뒤침(supination) 상태일 때 발생한다(Palastanga, Field & Soames, 2009)고 보고한 것과 다른 결과가 나타났다. 유의미한 차이는 없었지만 관절 각도와 근 활성도 사이에 관련성이 있음을 확인하였다. Kendall & McCreary (1983)은 관절의 각도 변화가 근 활성도에 영향을 미친다는 주장을 근육의 길이와 장력의 관계에 의한 설명으로 이론적 근거를 마련했다. 힘 또는 장력은 근육의 길이에 따라 다양하게 발휘되는데, 최대장력은 근-선(Z-line) 간격이 느슨한 길이일 때 발휘된다. 반면 근절의 길이가 이상적인 길이보다 짧아질 경우 능동장력은 감소된다(Nordin & Frankel, 2001). 따라서 근육 길이의 변화는 장력의 변화를 초래하기 때문에 관절 각도의 변화로 인한 근육 길이의 변화는 근육의 활성과 수축력의 변화를 가져올 수 있다(Kendall & McCreary, 1983; Kim et al., 2005). 결국 근력의 결정요인은 관절 각도, 근육의 길이, 관절축으로부터 힘이 작용하는 거리 등이 있으며(Kim & Lee, 1996), 그 중에서 근육의 길이는 근육의 수축력을 결정하는 중요한 인자라고 할 수 있다(Basmajian, 1962).

CONCLUSION

본 연구에서는 표면 근전도를 이용하여 상완이두근에서의 적절한 전극 위치를 제안하고자 근 활성을 검증하였다. 머리가 두 갈래인 상완이두근을 대상으로 SENIAM에서 제안한 전극 위치와 본 연구자가 제안하는 전극 위치의 근 활성을 비교한 결과, 암컬 등척성 운동 시 본 연구자가 제안하는 SH와 SENIAM 제안 위치는 유의한 차이가 없었고 LH, MJ은 SENIAM에서 제안하는 위치의 근 활성도보다 더 낮게 나타났고 유의한 차이가 있었다($p<.01$, $p<.001$). 따라서 상완이두근의 등척성 운동 시 표면 전극은 SENIAM에서 제안하는 위치에 부착하는 것이 적절하다고 판단되어진다. 또 표면 근전도를 다양한 측면에서 측정할 수 있는 방법을 마련하였다는 점에서 그 의의가 있으며 표면 근전도를 이용한 연구를 활성화하는데 기여할 것으로 기대된다. 그러나 본 연구는 정상 성인 남성 17명을 대상으로 하여 일반화하기에 무리가 있으며 많은 근육의 종류 중에서 대표적으로 두 갈래 방추형모양인 상완이두근의 근 활성만 알아보았기 때문에 추후에는 대상자를 더 확대하여 다양한 근육 종류의 근 활성을 파악하는 지속적인 연구가 필요하다고 판단된다. 또한 우세팔이 우측인 연구 대상자를 통하여 얻은 결과이기 때문에 추후 연구에서는 비우세팔과 우세팔의 비교 연구도 이루어져야 할 것으로 사료된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was supported by the 2018 Research Foundation of University of Konkuk.

REFERENCES

An, K. N., Kaufman, K. R. & Chao, E. Y. S. (1989). Physiological considerations of muscle force through the elbow joint. *Journal of Biomechanics*, *22*(11-12), 1249-1256.

Baltzopoulos, V. & Brodie, D. A. (1989). Isokinetic Dynamometry Applications and Limitations. *Sports Medicine*, *8*(2), 101-116.

Basmajian, J. V. (1962). Muscle Alive, Their functions revealed by electromyography. *Journal of Medical Education*, *37*(8), 802.

Bilodeau, M., Cincera, M., Arsenault, A. B. & Gravel, D. (1997). Normality and Stationarity of EMG Signals of Elbow Flexor Muscle during Ramp and Step Isometric Contractions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *7*(2), 87-96.

Blok, J. H. & Stegeman, D. F. (1997). *Simulated bipolar SEMG characteristics. In: Hermens HJ, Freriks B (Eds.). SENIAM 5: The state of the art on sensors and sensor placement procedures for surface electromyography: a proposal for sensor placement procedures*. Enschede: Roessingh Research and Development.

Calais-Germain, B. (2009). *Anatomy of Movement*. Seoul: yeongmunsa.

Ganesh, R. N. (Ed.) (2012). *Computational Intelligence in Electromyography Analysis - A Perspective on Current Applications and Future Challenges*. Croatia: IntechOpen.

Hermens, H. J., Freriks, B., Disselhorst-klug, C. & Rau, G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *10*(5), 361-374.

Jeong, C. S. & Sin, I. S. (2005). *Introduction to Sports Biomechanics*. Seoul: Daehanmedia.

Kang, T. W. (2013). *The effects of changing shoulder and elbow joint Angle on the muscle activity of the upper extremity during pulley with weight exercises*. Graduate School, Silla University.

Kendall, F. P. & McCreary, E. K. (1983). *Muscles: Testing and Function*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins Company.

Kim, J. J., Lee, M. H., Kim, Y. J., Chae, W. S., Han, Y. S. & Kwon, S. O. (2005). Comparison of the maximum EMG levels recorded in maximum effort isometric contractions at five different knee flexion angles. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *15*(1), 197-206.

Kim, J. W. & Lee, K. M. (1996). The Ralationship between Distance and Force during Isometric Strength Examination. *Annals of Rehabilitation Medicine*, *20*(1), 133-139.

Lange, F., Weerden, T. W. V. & Hoeven, J. H. V. D. (2002). A new surface electromyography analysis method to determine spread of muscle fiber conduction velocities. *Journal of Applied Physiology*, *93*, 759-764.

Lee, G. C. (2018). *Experiment in sport biomechanics*. Seoul: Rainbow Books.

Mathiassen, S. E. & Hägg, G. (1997). *Amplitude aspects and functional considerations on surface EMG electrode displacement with particular emphasis on the upper trapezius muscle. In: Hermens HJ, Freriks B. (Eds.). SENIAM 5: The state of the art on sensors and sensor placement procedures for surface electromyography: a proposal for sensor placement procedures.* Enschede: Roessingh Research and Development.

Nordin, M. & Frankel, V. H. (2001). Basic biomechanics of the musculoskeletal System. Alphen aan den rijn: Wolters Kluwer.

Orizio, C., Gobbo, M., Diemont, B., Esposito, F. & Veicsteinas, A. (2003). The surgace mechanomyogram as a tool to describe the influence of fatigue on biceps brachii motor unit actication strategy. Historical basis and novel evidence. *Eur Journal of Applied Physiology*, *90*, 326-336.

Palastanga, N., Field, D. & Soames, R. (2009). *Anatomy and Human Movement: structure and function.* Seoul: Epublic.

Vella, M. (2012). *Anatomy for Strength and Fitness Training.* Seoul: Daehanmedia.