

〔研究ノート〕

## 腕立て伏せにおける手の位置と上肢および上肢帯の筋活動

齋 藤 健 治, 富 田 彩

### 要 旨

上肢・上肢帯の筋力トレーニングのひとつである腕立て伏せにおいて、手の位置を変えた場合のトレーニング効果を検討するために、表面筋電図計測を行った。実験参加者一人に対して、大胸筋鎖骨部、大胸筋胸部部、三角筋鎖骨部、三角筋肩峰部、上腕三頭筋長頭、上腕三頭筋外側頭、上腕二頭筋短頭、烏口腕筋の8つの筋部位に表面電極を貼付した。実験では、通常行われる肩幅（normal）試技、手幅が狭い（narrow）試技、手幅が広い（wide）試技、手幅は肩幅で手の位置が頭より上になる（normal\_up）試技、手幅は肩幅で手の位置が胸の高さになる（normal\_down）試技において、表面筋電図計測と同時に三次元動作計測も行った。動作計測から得られた肘関節角度の変位から、肘屈曲、肘屈曲維持、肘伸展および肘伸展維持の4つの局面分けを行った。筋活動の強さは、normal試技を基準として評価した。結果は次の通りであった。基準であるnormal試技では、大胸筋鎖骨部、三角筋鎖骨部および上腕三頭筋外側頭の活動が強く、それは肘伸展で顕著であった。narrow試技では、大胸筋鎖骨部、三角筋鎖骨部、上腕三頭筋長頭・外側頭の活動が強く、それは肘屈曲維持で顕著であった。wide試技では、大胸筋胸部部の肘伸展維持、三角筋鎖骨部・肩峰部の肘屈曲維持での活動が強かった。normal\_up試技では、他の試技に比べ、全筋部位が全局面で活動が強い傾向にあった。normal\_down試技では、大胸筋鎖骨部・胸部部、三角筋鎖骨部の活動が強く、それは肘伸展維持で顕著であった。

キーワード：表面筋電図, ARV (Average rectified value), 関節モーメント, 筋長, 動作分析

### はじめに

腕立て伏せは、上肢、上肢帯の伝統的な筋力トレーニング方法のひとつであり、様々なトレーニング手段が開発された現代においても、

主流となるトレーニング方法である。そして、他の筋力トレーニングと同様、関節角度の違い、つまり腕立て伏せの場合は肩・肘関節角度の違いにともなう肢位の違いにより、上肢・上肢帯筋のトレーニング効果が異なることは巷に流布

している情報からも、あるいは解剖学的にも容易に想像可能である。腕立て伏せ時の肢位の違いは手の位置の違いによってもたらされるが、それによる大胸筋や上腕三頭筋の筋活動の違いについては多くの研究報告がある [1, 2, 3, 6]。しかしながら、その報告には若干のばらつきがあり、計測対象の問題だけではなく、計測方法（電極位置）の問題も影響しているのではないかと考えられる。本研究では、手の位置を変えて腕立て伏せを実施した時の上肢・上肢帯筋のうち8つの筋部位の筋活動を計測し、肢位間と姿勢（局面）間の比較を試みた。

## 方法

### 1. データ採取

対象者1名に対し、表面筋電図計測と三次元

動作計測を実施した。表面筋電図計測は無線式能動電極（ワイヤレス EMG Delsys Trigno システム, 計測周波数帯域10～850Hz）を用いて、大胸筋鎖骨部、大胸筋胸部部、三角筋鎖骨部、三角筋肩峰部、上腕三頭筋長頭、上腕三頭筋外側頭、上腕二頭筋短頭、烏口腕筋の8筋・部位を対象として行った。動作計測は、上肢の屈伸運動を捉えるために、光学式三次元動作分析装置（VICON）を用いて、左右の肩峰点、上腕骨外側上顆点、第三指中手骨遠位点、踵骨部およびC7部（隆椎点）に反射マーカを貼付したうえで、13台の赤外線カメラで腕立て伏せ時のマーカを追跡した。

試技は、手幅を肩幅(normal), 広い幅(wide), 狭い幅(narrow), 肩幅で手を顔の高さ(normal\_up), 肩幅で手を胸の高さ(normal\_down)に位置させたうえで、メトロノーム（60拍/分）

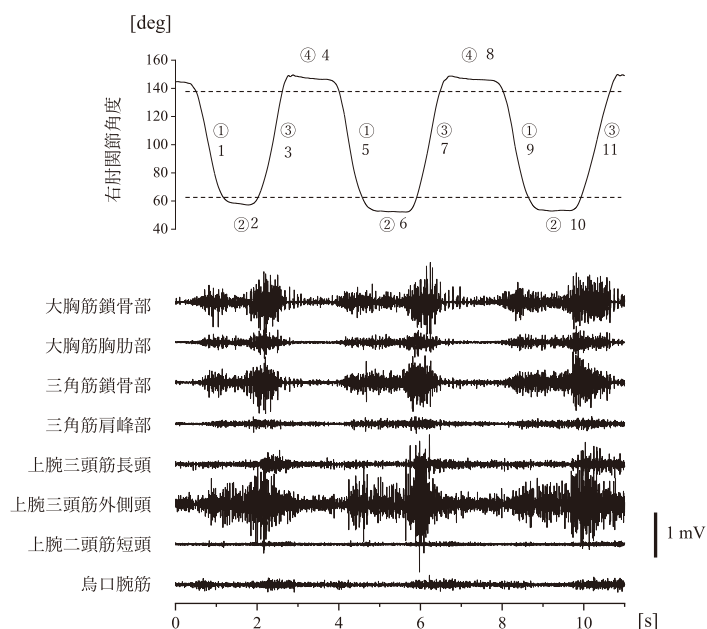


図1 肩幅の手で腕立て伏せ（normal試技）を3回行ったときの右肘関節角度の角変位（上）と8チャンネル表面筋電図（下）。上図の破線は腕立て伏せ運動の局面分けのための閾値ラインを示す。局面の種類は、肘関節の①肘屈曲局面、②肘屈曲維持局面、③肘伸展局面、④肘伸展維持局面に分けられ、計11局面が抽出された。

に合わせて3回の腕立て伏せ運動（図1）を2セット行った。表面筋電図計測、三次元動作計測ともに、サンプリング周波数は1kHzであった。

## 2. データ分析

採取した表面筋電図データ（図1）は、腕立て伏せ時の肘関節角度をもとに、①肘屈曲局面、②肘屈曲維持局面、③肘伸展局面、④肘伸展維持局面を抽出し（図1）、各局面で表面筋電図の平均整流値（ARV, Average rectified value）を求めた。3回の腕立て伏せ運動の中で11局面を抽出することができ、それぞれの局面について2セットの平均を算出した。平均整流値は、図1のような表面筋電図を全波整流後、ローパスフィルタ（高域遮断周波数6Hz）を用いて包絡線を求め、各局面の積分値を局面時間で除して算出した。

## 結果

各試技での手幅は表1の通りである。

表1 各試技における手幅  
（左右第三指間距離）[mm]

試技	手幅
narrow	235
	211
normal	574
	573
wide	921
	959
normal_up	526
	576
normal_down	517
	511

### 試技（肢位）毎の表面筋電図振幅

図2に、normal試技の表面筋電図ARVを8つの筋・部位について、11の局面毎に絶対値で示す。ARVは、大胸筋鎖骨部、三角筋鎖骨部、上腕三頭筋外側頭において、局面3, 7, 11の肘伸展時には0.2 mV近辺まで大きくなった。局面3, 7, 11の傾向は、筋に関わらずみられた。一方、局面4, 8の肘伸展維持時の振幅は小さく

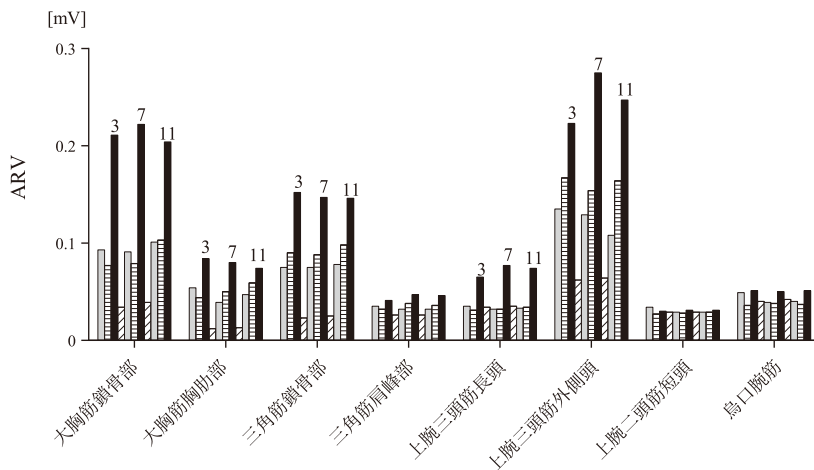


図2 normal試技における局面毎の平均整流値ARV。棒上の数字は局面番号。

なる傾向であった。

図3に、8つの筋・部位について11の局面毎のARVを、normal試技の局面毎のARVに対する相対値で示す。

narrow試技では、大胸筋鎖骨部の局面1, 2, 5, 6, 9, 10の肘屈曲と肘屈曲維持で、上腕三頭筋長頭の局面2, 6, 10の肘屈曲維持と局面3, 7, 11の肘伸展で振幅が大きかった。肘屈曲維持では上腕三頭筋外側頭も大きかった。また、大胸筋鎖骨部と三角筋鎖骨部・外側部の局面4, 8の肘伸展維持でもやや大きかった。

wide試技では、平均的にnormal試技と同程度の振幅であったが、大胸筋胸部部の局面4, 8の肘伸展維持において、そして三角筋鎖骨部・外側部の局面2, 6, 10の肘屈曲維持で振幅が大きかった。この局面では、上腕二頭筋短頭もやや大きかった。

normal\_up試技では、大胸筋鎖骨部および三角筋鎖骨部・外側部の局面2, 6, 10の肘屈曲維

持、大胸筋胸部部の局面4, 8の肘伸展維持、上腕三頭筋長頭の全局面、上腕三頭筋外側頭の局面1, 2, 5, 6, 9, 10の肘屈曲と肘屈曲維持で振幅が大きかった。肘屈曲では三角筋肩峰部もやや大きかった。また、烏口腕筋も他の試技に比べて大きめであった。一方、大胸筋鎖骨部・胸骨部、三角筋鎖骨部はnormal試技の局面3, 7, 11で振幅が大きかった分、normal\_up試技では小さくなった。

normal\_down試技では、大胸筋鎖骨部・胸骨部および三角筋鎖骨部の局面4, 8の肘伸展維持で振幅が大きかった。局面6, 10の肘屈曲維持では全筋部位で大きめであった。

これら相対値を総量でみると、narrow試技がnormal試技の約1.6倍、normal\_up試技が約1.4倍、normal\_down試技が約1.3倍であった。一方、wide試技はnormal試技と同程度であった(図4)。

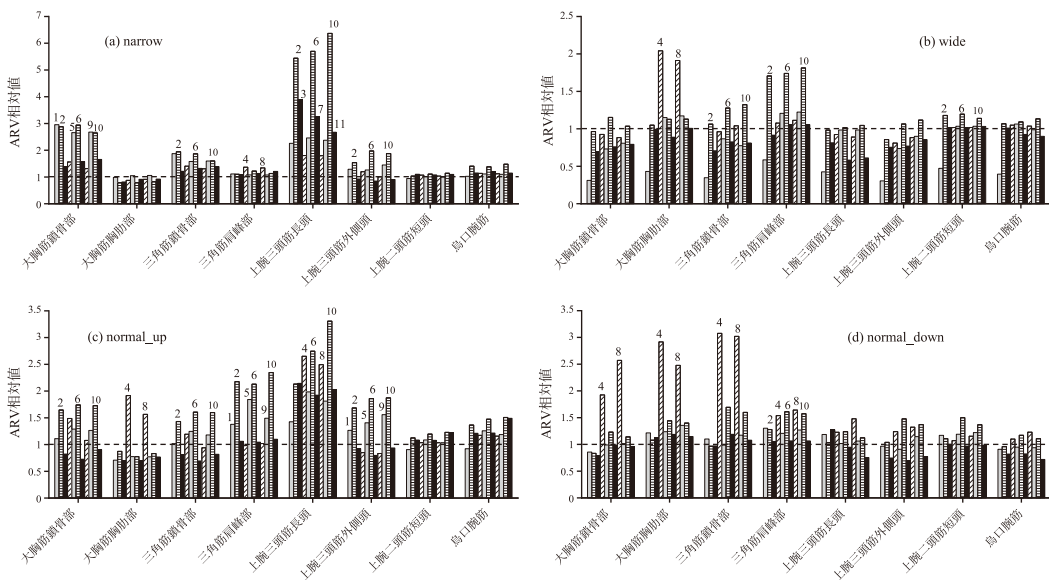


図3 normal試技の平均整流値ARVを1.0とした時の、(a) narrow試技、(b) wide試技、(c) normal\_up試技、(d) normal\_down試技のARVの相対値。筋毎に11局面の値が示されている。棒上の数字は局面番号。

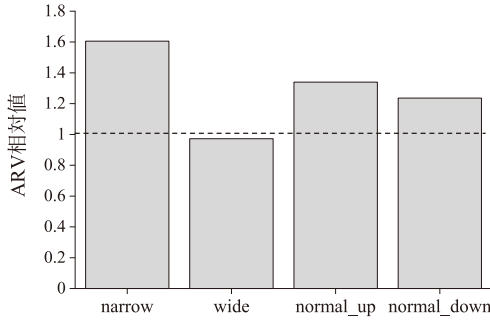


図4 normal試技の8筋部位11局面の平均整流値ARV総計に対する、(a) narrow試技、(b) wide試技、(c) normal\_up試技、(d) normal\_down試技のARV総計の相対値。

## 考察

Youdas et al. [6] は standard (本研究の normal), narrow および wide 試技時の上腕三頭筋と大胸筋の表面筋電図振幅を比較し、上腕三頭筋には narrow > normal > wide の関係があり、大胸筋には差がないとしている。一方、Cogley et al. [1] や Fahis et al. [2] は narrow 試技において大胸筋の振幅が有意に大きかったことを報告している。また、Marina and Konstantinos [3] は、wide, narrow, down (本研究の normal\_down) および up (本研究の normal\_up) 試技時の上腕三頭筋と大胸筋を比較し、wide および normal\_up 試技では両筋とも normal 試技と変わらず、narrow 試技では両筋とも normal 試技より大きく、normal\_down 試技では大胸筋が normal 試技より大きく、上腕三頭筋が小さいとしている。これらは概ね本研究と傾向は同じであるが、大胸筋を鎖骨部と胸肋部で区別していない点など、電極位置の問題が結果に影響を与えたかもしれない。

大胸筋は鎖骨部、胸肋部ともに収束しながら交差して上腕骨前部の大結節稜に停止しており [4, 5]、概ね肩関節の屈曲・内転（上腕の前方挙上・内転）に作用する。腕立て伏せの肘関節

伸展肢位は、基本的に上腕の前方挙上かつ内転（水平内転）であるため、大胸筋が主働筋となる。ただし、normal 試技、narrow 試技、wide 試技の肢位の違いで、大胸筋の肩関節内転モーメントアームは大きく異なる（図5）。

normal 試技では、肘伸展維持において支えるべき体幹等の重力方向と上腕三頭筋による肘伸展力の力作用線の方向が近いいため、関節モーメントが生じにくい。骨格で支える状態ともいえるが、そのため、とくに伸展維持における筋力発揮すなわち ARV が小さくなったと考えられる。

narrow 試技では、手幅を狭くするために肩関節をより内転させる必要があるが、この肢位をとるだけで大胸筋が収縮し、かつ内転モーメントアームが長くなる（図5）。さらに、大胸筋鎖骨部は胸肋部より上部（頭側）の鎖骨から起こり、停止は胸肋部よりも下方（遠位）になるため [4, 5]（図6）、肩関節の屈曲位（上腕挙上）かつ内転位ではモーメントアームが長くなり優位に働くと思われる。また、肩関節内転姿勢をつくっていることから、過剰に内転方向への姿勢の崩れを防ぐために、肘伸展維持では逆に三角筋肩峰部の外転のための活動が高まるといえる。一方、narrow 試技の肘屈曲位では上腕三頭筋長が他の試技より大きくなり、かつ肘関節の伸展モーメントアームが短くなるものの（図7）、関節モーメントの低下を補償する筋が存在しないため、大きな発揮力が必要となり、normal 試技では振幅が小さかった長頭の振幅増大につながったと考えられる。

wide 試技の大胸筋胸肋部は、normal 試技における肘伸展維持の表面筋電図振幅の2倍近い値を示しているが、これは、内転モーメントアームが短くなり（図5）、その分筋発揮力が必要になることと、normal 試技の振幅が小さいこ

とが影響している。むしろ肘屈曲維持における三角筋肩峰部の相対値が1.8倍程度（三角筋鎖骨部は約1.2倍）であることから、wide試技においては、大胸筋の筋長が大きくなることによる発揮筋力の低下が、三角筋肩峰部（鎖骨部も）の筋力発揮を補償的にもたらしたと考えられる。

normal\_up試技においては、肩関節が屈曲（上腕の挙上）状態にあり、肘伸展維持では、肩関節と肘関節の伸展モーメントが必要になる（図5）。支えるべき体幹等の重力方向と伸展モーメント生成のための力作用線の方向が大きく異なるため、関係する筋力はnormal試技に比してかなり大きくなるといえる。同様に、このモーメントはwide試技において肩関節内転モーメントに相当するが、強力な大胸筋（とくに胸部部）が存在するため、肩周りのその他の筋の負担は軽減され则认为られる。したがって、大胸筋走行的に筋力発揮しにくいnormal\_up試技においては、その他の筋による、伸展モーメント生成のための筋力発揮の必要性は高くなると

いえる。一方、肩関節部分には曲げモーメントが発生するとみることでもでき、このモーメントに抗するためには起始部が広く停止部が狭い三角筋による関節周りの固定の効果も必要となる[4, 5]。また、肘関節の伸展モーメントは全局面にわたって必要になるため、上腕三頭筋長頭では全局面で大きな筋力発揮になったと考えられる。上腕の挙上位（肩の屈曲位）では肩関節の内転モーメントがあまり必要でないため、とくに大胸筋胸部部の活動は弱く、伸展モーメントアームが長くなる鎖骨部の活動が優位になったといえる。烏口腕筋の発揮力も肩伸展モーメントに貢献しており、この点で他の試技と異なる。

normal\_down試技においては、上腕を終始体側から離さない姿勢を維持する肩関節内転運動になったため（図5）、とくに肘伸展維持において大胸筋鎖骨部・胸部部および三角筋鎖骨部の筋力発揮が大きくなったと考えられる。

以上については、概ね表2のようにまとめら

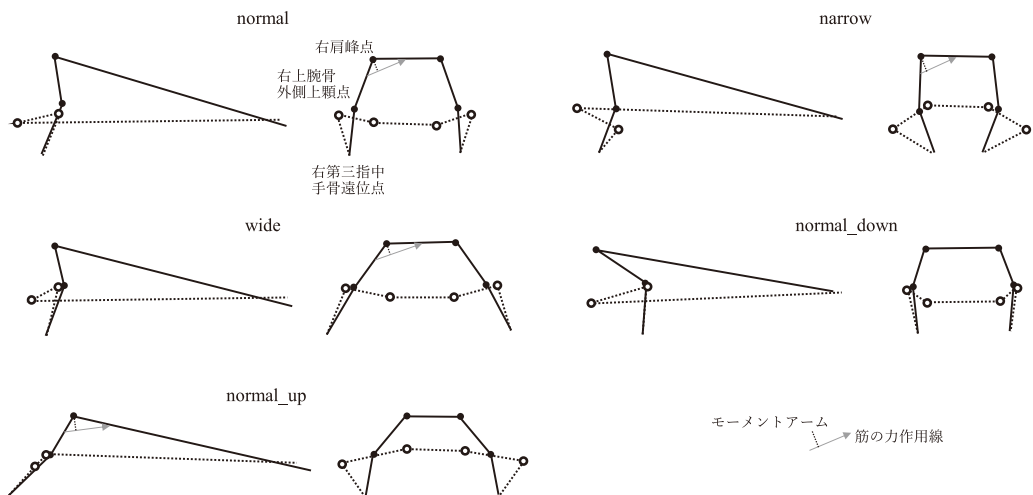


図5 normal, narrow, wide, normal\_upおよびnormal\_downの各試技における、最大肘伸展時（実線）および最大屈曲時（破線）の横から見たスティックピクチャ（それぞれの左）と頭上から見たスティックピクチャ（それぞれの右）。右肩関節に大胸筋の力作用線（グレー矢印）とモーメントアーム（破線）を表示。

# 腕立て伏せにおける手の位置と上肢および上肢帯の筋活動

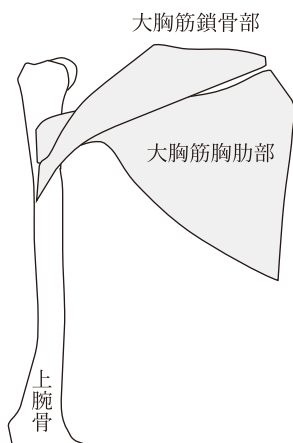


図6 大胸筋鎖骨部と胸肋部の上腕骨への停止の仕方。両者は交差して，起始と上下逆転した停止となる。

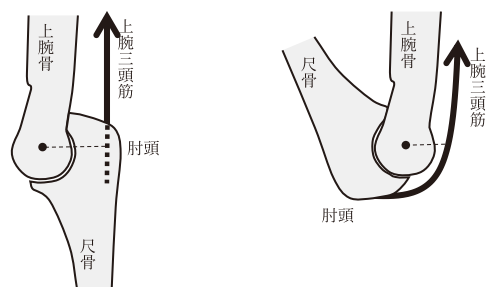


図7 肘関節伸展に作用する上腕三頭筋の付着と肘伸展位および屈曲位での筋長と伸展モーメントアーム長（上腕骨遠位からのびる破線）の違いを示す模式図。

表2 試技毎の活動の強い筋とその局面

試技	筋，局面
normal	<ul style="list-style-type: none"> <li>大胸筋鎖骨部，三角筋鎖骨部，上腕三頭筋外側頭</li> <li>肘伸展での活動大</li> </ul>
narrow	<ul style="list-style-type: none"> <li>大胸筋鎖骨部，三角筋鎖骨部，上腕三頭筋長頭，上腕三頭筋外側頭</li> <li>肘屈曲維持での活動大</li> </ul>
wide	<ul style="list-style-type: none"> <li>大胸筋胸肋部の肘伸展維持での活動大</li> <li>三角筋鎖骨部，三角筋肩峰部の肘屈曲維持での活動大</li> </ul>
normal_up	<ul style="list-style-type: none"> <li>全筋部位</li> </ul>
normal_down	<ul style="list-style-type: none"> <li>大胸筋鎖骨部，大胸筋胸肋部，三角筋鎖骨部</li> <li>肘伸展維持での活動大</li> </ul>

れる。

## 参考文献

- [1] Cogley RM, Archambault TA, Fibeger JF, and Koberman MM (2005) Comparison of muscle activation using various hand positions during the push-up exercise, J Strength Cond Res, 19(3), 628-633.
- [2] Fahis AP, Shahid R, Jamal AM, Aqsa M, and Pooja B (2020) Activity of shoulder girdle muscles during the perfect push-up and push-up bar exercises using different hand positions in young overhead athletes, Sport Sciences Health, 16, 65-73.
- [3] Marina KG and Konstantinos B (2005) Dynamic and electromyographical analysis in variants of push-up exercise, J Strength Cond Res, 19(1): 146-151.

- [4] Michael S, Erik S, Udo S, Markus V, and Karl W (2017) プロメテウス解剖学アトラス 解剖学総論／運動器系第3版, 坂井建雄, 松村讓兒監訳, 医学書院.
- [5] 山田到知, 萬年 甫(1987)実習解剖学, 南江堂.
- [6] Youdas JW, Budach BD, Ellerbusch JV, Stucky CM, Wait KR, and Hollman JH (2010) Comparison of muscle-activation patterns during the conventional push-up and perfect pushup[TM] exercises, J Strength Cond Res 24(12): 3352-3362.

[Research Notes]

## Relationship between hand position and upper limb and shoulder girdle muscle activity during push-up exercise

Kenji Saitou, Aya Tomita

### Abstract

Surface electromyography measurements were performed to examine the training effects of different hand positions in push-ups, a form of strength training for the upper limb and upper limb girdle. Surface electrodes were attached to eight muscle sites for one experimental participant: clavicular head of the pectoralis major, sternocostal head of the pectoralis major, clavicular part of the deltoid, acromial part of the deltoid, long head of the triceps brachii, lateral head of the triceps brachii, short head of the biceps brachii, and coracobrachialis. In the experiment, surface electromyography (EMG) measurements and 3D motion measurements were taken simultaneously in the normal shoulder-width (normal), narrow hand-width (narrow), wide hand-width (wide), hand position above the head in shoulder-width (normal\_up), and hand position at chest level in shoulder-width (normal\_down) trials. Based on the elbow joint angle displacement obtained from the 3D motion measurements, four phases were classified: elbow flexion, elbow flexion maintenance, elbow extension, and elbow extension maintenance. The intensity of muscle activity was evaluated based on the normal trial. The results were as follows. In the normal test, there was strong activity in clavicular head of the pectoralis major, clavicular part of the deltoid, and lateral head of the triceps brachii, which was evident in elbow extension. In the narrow trial, there was strong activity in clavicular head of the pectoralis major, clavicular part of the deltoid clavicle, and long and lateral head of the triceps brachii, which was evident in elbow flexion maintenance. In the wide trial, the sternocostal head of the pectoralis major was evident in elbow extension maintenance and both parts of the deltoid were evident in elbow flexion maintenance. In the normal\_up trial, all muscle areas tended to be more active in all phases than in the other trials. In the normal\_down trial showed stronger activity in both heads of the pectoralis major, and clavicular part of the deltoid, which were more pronounced in elbow extension maintenance.

**Keywords:** surface EMG, ARV (Average rectified value), joint moment, muscle length, motion analysis