

## 打刷毛による叩打動作時の筋活動計測

岡 泰央 (株式会社岡墨光堂, okayas@mac.com)

弓 永 久 哲 (関西医療学園専門学校, yuminaga@kansai.ac.jp)

高井 由佳 (大阪産業大学 デザイン工学部, takai@ise.osaka-sandai.ac.jp)

後藤 彰彦 (大阪産業大学 デザイン工学部, gotoh@ise.osaka-sandai.ac.jp)

### Electromyography measurement of craftsmen at beating motion with the beating brush

Yasuhiro Oka (Oka Bokkodo Co., Ltd., Japan)

Hisanori Yuminaga (Kansai Vocational College of Medicine, Japan)

Yuka Takai (Faculty of Design Technology, Osaka Sangyo University, Japan)

Akihiko Goto (Faculty of Design Technology, Osaka Sangyo University, Japan)

#### 要約

書画の装訂様式に掛軸がある。掛軸は鑑賞時に床の間に掛け、用が済めば下から巻き上げて箱に収納する。掛けた時には大きな反りを生ずることなく真っ直ぐに掛かり、下から巻き上げる際には折れ傷を生じさせないしなやかさが必要である。そのため、書画の裏面には和紙による裏打ちが4層施される。和紙の接着には小麦澱粉糊が用いられる。掛軸のしなやかさを保つために小麦澱粉糊を10年間かけて発酵させる。微生物分解によって糊は低分子化して乾燥後もしなやかさを保つ接着剤となる。しかし、低分子化した接着剤は、和紙を接着するだけの十分な接着力を有さない。そのため、接着された和紙の表面を打刷毛と呼ばれる刷毛で叩いて接着を促進させる。強く叩き過ぎると和紙の表面を痛める。弱すぎると接着の促進ができない。この叩く動作には高い熟練度が必要である。一般的に熟練者は長時間にわたる作業でも安定して叩く動作ができるが、非熟練者は短時間で把持する右上肢に疲労を訴えることが多い。本研究では、熟練者と非熟練者を被験者として刷毛を把持する右上肢の9筋についての筋活動を計測する。これにより熟練者と非熟練者がそれぞれにどのような筋活動を行っているのかを解明することを目的としている。さらに、%MVCを算出することにより、それぞれの被験者の筋疲労についても検証する。熟練者が非熟練者に比べて効率的に作業を行っていると考えられる一因が、明らかに異なる筋活動と筋疲労の計測結果から証明することで、非熟練者の技術習得の一助となることが期待できる。

#### キーワード

打刷毛, 叩打, 表面筋電計測, %MVC, 筋疲労

#### 1. 緒言

我が国には、書画を鑑賞するための装訂方法として掛軸がある。鑑賞する時にだけ展開されて床の間や梁に掛けられ、鑑賞しない時には下から巻き上げられて箱に収納されるという特色を有している。

掛軸を展開して掛ける際には、反りやなみうちを生じさせなくてはならない。そして、下から巻き上げられる際には折れや皺を生じさせることなく、しなやかに巻き上げられなければならない。この2つの機能を可能にするために、掛軸の裏面には一般的に4層の和紙が貼り重ねられている。和紙の接着剤には小麦の澱粉糊を用いる。そして、2層目以降の和紙の接着には、乾燥後の硬化を防ぎ、しなやかさを保つために接着力の低い古糊と呼ばれる澱粉糊が用いられる。さらに接着を促進するために、接着された和紙の表面を打刷毛と呼ばれる特殊な道具で叩き、接着を促進させる。この叩く動作のことを叩打と呼ぶ。叩打動作の様子を図1に示す。

叩打をする力が強すぎると、接着された和紙の表面を傷めてしまい、その下層に伏せられている作品そのものを損傷してしまう可能性がある。逆に叩打をする力が弱すぎれば、十分な接着を促進することができない。

叩打動作では、打刷毛を連続的に上下動させて、適度な強



図1：打刷毛による叩打動作の様子

さで広い面積を斑なく叩打することが求められる。その技術の習得には繰り返しの鍛錬が必要であるとされている。伝統産業分野における難易度の高い様々な技術と同様に、現状では、熟練者の叩打技術を見るというのが、主たる叩打の習得方法である。

本研究では熟練者と非熟練者の2名を被験者として、打刷毛を把持して振り上げ振り下げの動作を行う右側上肢の表面筋電計測を行い、熟練者と非熟練者との叩打動作時の上肢の筋活動の相違を比較検討した。その結果を踏まえて、それぞれの被験者が叩打動作時にどのような筋活動が生じているの

かを検証する。また、連続的な筋活動により各被験者にどのような筋活動の変化が生じるのかを解析する。通常、非熟練者は数分の叩打動作で打刷毛を把持した手が疲労してしまうのに対して、熟練者は長時間の叩打動作が可能である。この要因について筋活動を解析する観点から検討することを本研究の目的とする。これにより、習得に時間がかかるとされている叩打技術への理解が深まり、検証結果が非熟練者の技術習得の一助となることが期待される。

## 2. 掛軸製作に用いられる材料と掛軸の構造

掛軸には、本紙と呼ばれる書画の裏から順に肌裏紙、増裏紙、中裏紙、総裏紙と呼ばれる4層の裏打ちが和紙によって施される。肌裏紙の接着には小麦の澱粉を糊化させた新糊と呼ばれる接着剤が用いられる。新糊は小麦の澱粉を大きな鍋で加熱して得られる糊である。これを一晩かけて自然に熱を冷まして用いる。この新糊を接着剤として第1層目の和紙を本紙の裏面にしっかりと接着する。しかしながら、この接着剤を第2層目である増裏紙以降の接着にも使い続けると、糊が乾燥した後、必要以上に接着層が硬化して円滑な巻き解きをすることができなくなる。そのため、増裏紙層以降の接着には古糊と呼ばれる、新糊と比して接着力の低い接着剤が用いられる。古糊は小麦の澱粉を加熱して糊化させた後、甕に注ぎ込んで木製の蓋で密封させ、10年間、冷暗所にて保管することによって完成する接着剤である。この古糊は、澱粉が長期保管により発酵し、微生物の代謝する酵素で分子量が著しく低下した接着剤で、通常の澱粉糊に比して、古糊は接着力が低い。図2に掛軸の積層構造の略図を示す。

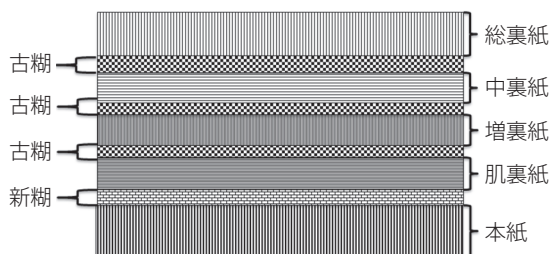


図2：掛軸の積層構造

## 3. 被験者及び実験方法

### 3.1 被験者

表面筋電図計測を実施するにあたり、経験年数22年の熟練者と経験年数6年の非熟練者を被験者とした。それぞれの被験者については表1に示すとおりである。

表1：被験者の情報

被験者 (年齢)	経験年数 (年)	身長 (cm)	体重 (kg)	性別	利き腕
熟練者 (40)	22	171	72	男	右
非熟練者 (27)	6	170	54	男	右

熟練者は叩打技術において質の高い仕上がりを提供することができるという点で評価が高い。一方、非熟練者は日常的に叩打をする力が強すぎるという注意を熟練者より受ける傾向にあり、実際の作品に対する叩打動作をすることは許されていない状況である。また、計測前の聞き取りにて、熟練者は連続的に数時間以上の叩打動作を続けても大きな疲労を感じることがないが、非熟練者は15分程度の継続的な叩打動作をすると筋疲労を感じているとのことであった。主観的な感覚としても両者の作業時での疲労感は異なることが示されている。

### 3.2 実験方法

実際の叩打動作の最中の筋活動を計測することを目的としたため、以下の方法にて行った。肌裏紙の接着が完了している40 cm角の平織絹を本紙と見立て、増裏紙を接着した後の叩打動作を被験者に指示し、その際の筋活動を計測した。図3の略図に示す通り叩打動作は右手前から開始して左端まで断続的にむらなく接着を促進させる通常通りの作業を実施した。これを1.5往復行った。

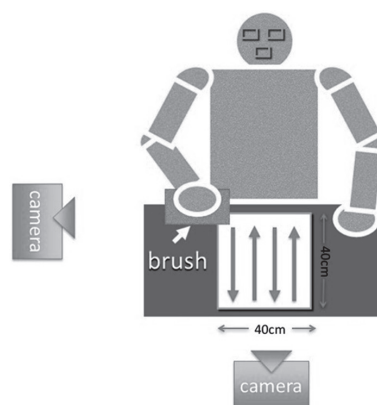


図3：叩打動作の手順

作業の様子は被験者の正面及び右側からビデオカメラで撮影した。熟練者、非熟練者ともに右手のみで作業した際の筋活動を計測した。計測する部位は図4に示す9筋とした。

計測には、多チャンネルテレメータシステムWEB1000（日本光電社製）を用いた。身体表面に装着する電極は、コードレステレメータ電極のテレメータピッカを使用した。本機器では、テレメータピッカにて測定した生体信号を離れた位置に設置した受信機へ送信する。受信機はUSBで専用パーソナルコンピュータに接続して、データ通信をする。パーソナルコンピュータで受信した波形を表示し、データの保存と解析が可能である。周波数帯域を30～500 Hz、サンプリング周波数を1,000 Hzとして計測を行った。また、テレメータピッカの電極部位は各筋の筋腹とした。

データ解析は全作業時の中間の5回の筋電図波形を計測し、平均値にて解析を行った。計測された筋電図波形は整流化した後、各筋の5回の筋活動波形データを数値化し、平均値を算出してスムージングを行った。加えて、序盤の筋活動と終盤の筋活動の差については、各筋の最大筋力を100とした時

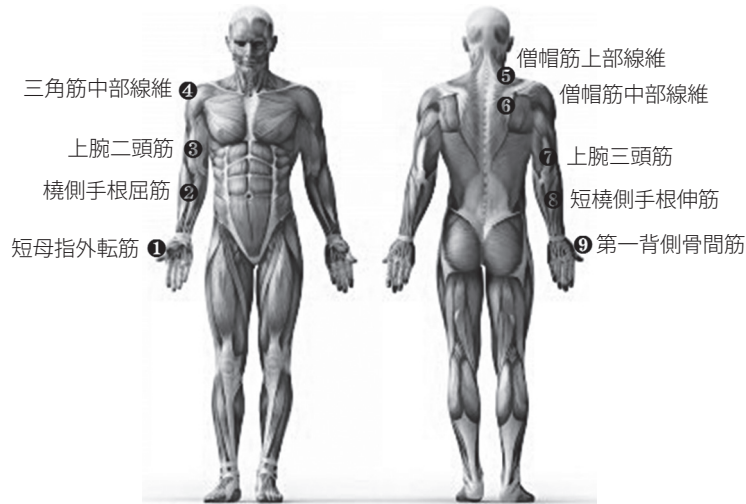


図4：電極の配置位置

の作業時の筋活動である%MVCを算出し解析を行った。

#### 4. 計測結果

9箇所の筋肉についての熟練者と非熟練者の筋活動の結果を以下に示す。全体的な計測結果から、それぞれの被験者が叩打動作の際に主にどの筋肉を使っているのかということを検証し、さらには、その結果から、打刷毛を振り上げて振り下げるという1回の叩打によってどのような筋活動を両被験者がしているのかを9箇所すべての筋の活動についてスムージングを行い検証した。

##### 4.1 叩打動作の際の筋活動

被験者の計測時間は90秒であった。これを3等分して最初の30秒を序盤、30秒から60秒を中盤、60秒から90秒を終盤とする。熟練者の序盤の筋活動を図5、中盤を図6、終盤を図7に示す。また、非熟練者の序盤の筋活動を図8、中盤を図9、終盤を図10に筋電図波形として示す。

今回の9箇所の計測について、熟練者と非熟練者の間で短母指外転筋の計測結果に大きな違いが見られた。短母指外転筋は、熟練者においては動作直後に大きな波形が確認できたが、その後は作業終了までは筋活動の増加は認められず、非

熟練者と比較して著しく低下する結果となった。

一方、非熟練者の短母指外転筋については、計測中を通じて筋活動の増減が確認され、特に作業の後半へ進むに従って筋活動の増減が認められなくなり、持続した筋活動へと移行することが認められた。

この結果を踏まえて、熟練者は叩打動作開始後の数回で刷毛の叩打の加減を調整し、すぐに定常状態へ移行し、一旦定常状態となるとその後は必要最小限の筋活動で刷毛を把持して作業を継続することができると考えられる。

しかし、非熟練者は、定常状態へ移行することが不十分で、序盤での筋活動の増減が認められるものの、中盤以降では増減が認められなくなり、持続した筋活動へと移行することが確認される。これは、熟練者のように必要最小限の筋活動で作業を行わず、強く刷毛を把持して作業を行っていたことが推測される。また、作業中盤以降では力を抜くことができず、刷毛を把持して作業が続けられたということも推測され、熟練者と非熟練者とは刷毛の把持方法が異なり、それに伴う作業時の力の入れ方も異なることがこの筋活動から推測することができる。

橈側手根屈筋では、熟練者は非熟練者と比較して筋活動が低く、増減の見えるメリハリのあるパターンとなった。

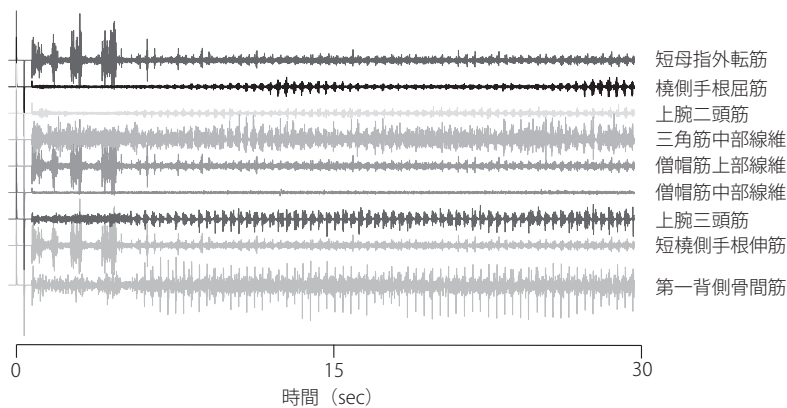


図5：熟練者の序盤の筋活動



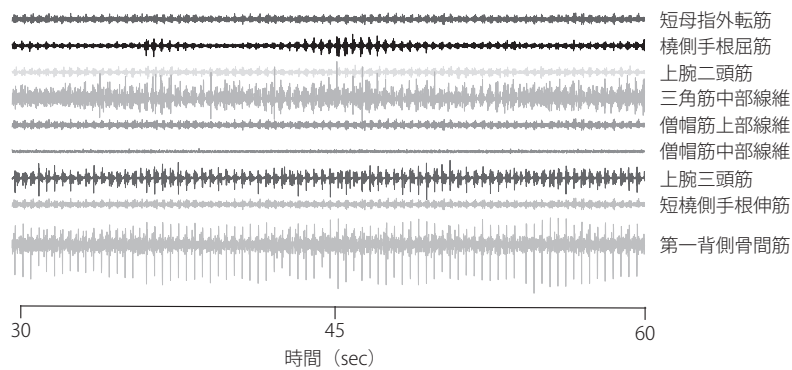


図6：熟練者の中盤の筋活動

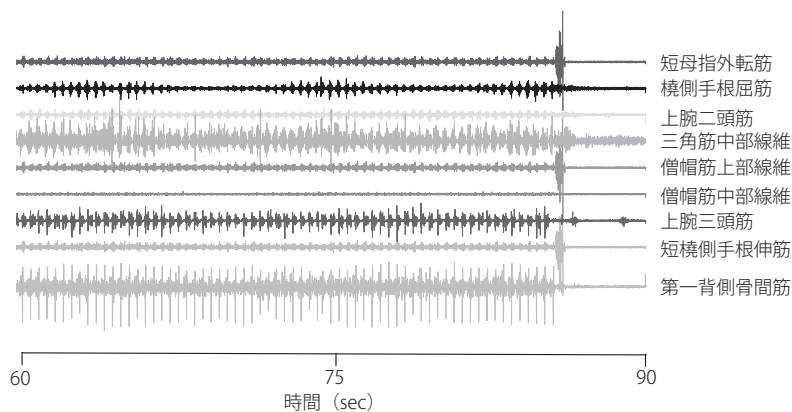


図7：熟練者の終盤の筋活動

また、熟練者に関しては、作業の中盤で筋活動が増減する傾向が認められ、終盤には序盤同様にやや低下し最終に増加することが確認される。一方、非熟練者は持続的に増減している一定の筋活動を確認することができる。橈側手根屈筋は、手関節を掌屈させる作用がある。本作業時には打刷毛を叩打する際に作用すると考えられ、また叩打後に手を引き上げた後の手関節が背屈することも制御する作用に働くことが考えられる。その拮抗筋である短橈側手根伸筋は、手関節を背屈させる作用を有する筋である。前腕筋群の背屈筋と掌屈筋群は拮抗作用として交互に作用することや、手関節を安定させるために同時に活動することもある。熟練者の両筋の活動様式は、背屈筋である橈側手根屈筋の作用後に、短橈側手根伸筋の作用が生じている。これは動画からも、作業時には手関節は、打刷毛を煽るような動きでスナップを効かせたように運動が行われていた。このことから、両筋は協調的に作用し、刷毛を振り下ろした際には、背筋である短橈側手根伸筋がブレーキングとして作用し、手を振り上げた際には、背屈が生じるのを橈側手根屈筋が作用し背屈を制御していると考えられる。

一方、非熟練者においては、橈側手根屈筋と短橈側手根伸筋の両筋とも同期して活動しており、熟練者の活動様式とは異なる活動となっている。同期して活動しているということは、手関節を固定させる作用があると考えられ、熟練者のようなスナップを効かせた動作とは異なる。これはリラックスしながら叩打動作を行っているのではなく、手関節は固定さ

れ力が入ったままであることが分かる。そのため、筋活動も熟練者よりも増加することが示されている。

上腕二頭筋は、熟練者では上腕二頭筋が作用した直後に上腕三頭筋の活動が増加しているが、両筋活動もそれほど高い結果ではなかった。一方、非熟練者は、熟練者と比較して筋活動が増加していた。この違いは、熟練者での叩打の際の手の振り下しは筋力をほとんど使うことなく従重力運動として行われ、その後、刷毛が接着面に接触した瞬間に上腕二頭筋を反射的に作用させ引き上げている。このことは、熟練者は筋力を使うことなく反射的な作用を利用して動作を行っていたことが容易に考えられる。一方、非熟練者においては、反射的な熟練者の運動様式とは異なり、上腕の筋に力を入れて動作が行われ、非効率な動作となっていることが推察される。

三角筋中部線維は、熟練者においては増減が認められるが、非熟練者とは異なり、メリハリが明確に示される結果とはなっていない。三角筋中部線維は肩関節の外転の作用を有するため、熟練者は肩関節を外転位にして、作業を行っていることが分かる。一般的に中枢部の筋は安定筋としての作用を有し、末梢部は相動筋としての機能を有することが知られている。つまり、中枢部に位置する体幹筋は、四肢をスムーズに動かすため安定性に寄与している。

今回の熟練者の結果は、それを反映していると考えられる。一方、非熟練者は橈側手根屈筋や上腕二頭筋と同期して三角筋中部線維が活動している。これは三角筋本来の機能である安定性という機能とは異なり、末梢部と共に随意

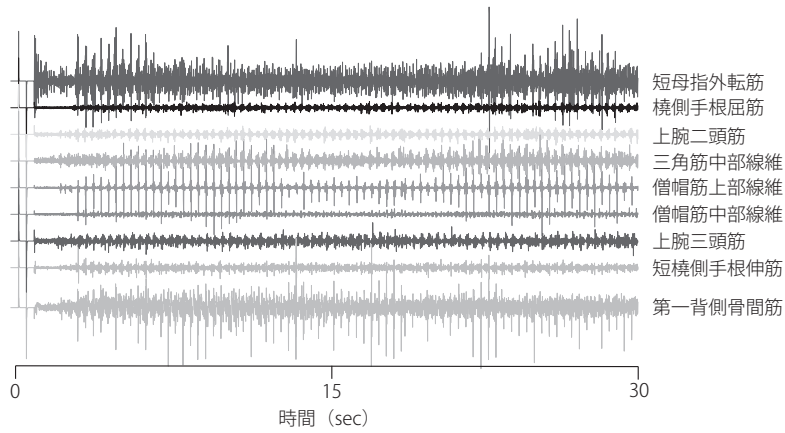


図8：非熟練者の序盤の筋活動

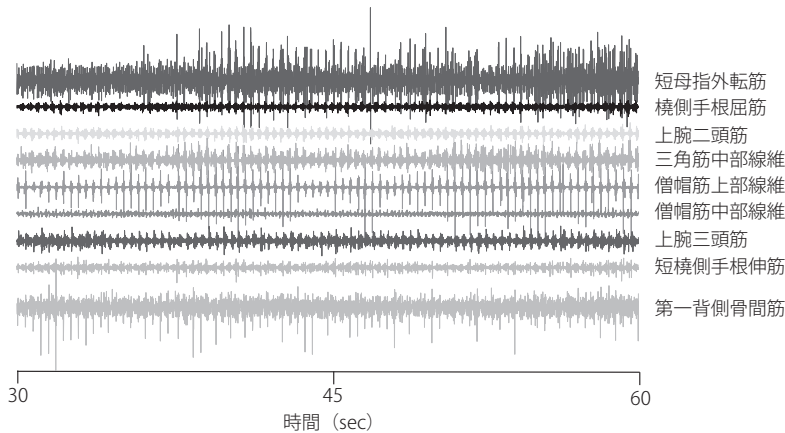


図9：非熟練者の中盤の筋活動

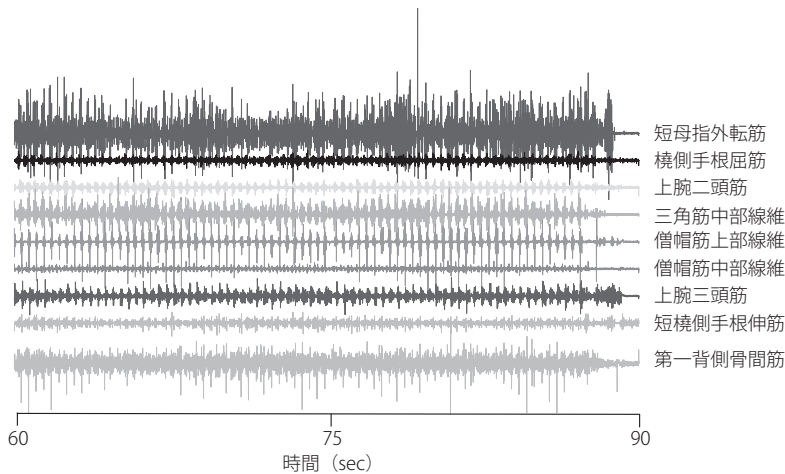


図10：非熟練者の終盤の筋活動

的に筋を作用させていたということで、末梢部の運動を生み出すための中枢側の安定性の確保という観点とは異なる。このため、非熟練者では、一動作の様式が各々一定せず、バラバラな動作となることが十分に推測される。

僧帽筋上部線維においては、熟練者は三角筋と類似し、増減はやや認められるものの一定の筋活動パターンを示している。しかし、非熟練者では三角筋同様に増減のある筋活動パターンを示す。これも三角筋同様に非熟練者については安定

筋として作用していないことが確認できる。僧帽筋上部線維は肩関節が外転位を保持している最中には、肩甲骨の下制を制御していることから、熟練者のような筋活動は理想的であるといえる。

一方、僧帽筋中部線維は、熟練者はほとんど活動しておらず、持続的に低い活動が観察された。非熟練者においては、やや増減するパターンを示し、熟練者と比してやや増加している持続的な活動を示した。僧帽筋中部線維は、肩甲骨を内

転させる筋であり、その深層の菱形筋と協同して肩甲骨を安定させる筋である。今回、熟練者の本筋の筋活動が増加しなかった理由は、熟練者は姿勢を正して作業が行われていたことから、肩甲骨を内転させ安定させる必要がなかったことに由来する。一方、非熟練者はやや体幹部を屈曲、前傾させて作業を行っていた。このため肩甲骨が外転してしまうのを内転筋である本筋が活動して止めていたと考えられる。

第一背側骨間筋は、熟練者と非熟練者で類似したパターンを示している。しかし、手内在筋である短母指外転筋との関係性から、作用様式は質的に全く異なることが考えられる。第一背側骨間筋は母指を内転させる筋である。動作の検証では、熟練者はIP関節を伸展させ、さらにMP関節をやや屈曲させることで指先が伸びている状態となり、刷毛を把持していた。しかし、非熟練者は指が曲がった状態のままで刷毛を把持していた。双方ともIP関節の肢位に関わらず母指を内転させていたことから、今回の結果になったと考えられる。

#### 4.2 叩打動作における筋活動のスムージング結果

ここでは、各筋肉が打刷毛を振り上げて振り下ろすという1回の叩打動作においてどのような筋活動をしていたのかを、筋活動が安定した段階の各筋の5回の筋活動波形データを数値化し、平均値を算出してスムージングを行なった。なお、熟練者と非熟練者のスムージングデータを正規化して図で示した。それぞれの正規化した結果を図11から図19に示す。

##### 4.2.1 短母指外転筋

図11に示す通り、熟練者は、生波形同様にほとんど筋活動の増加は認められず、非熟練者は増加する傾向が認められた。短母指外転筋は手内在筋という性質のため筋紡錘が豊富にあり、センサーとして機能する筋である。熟練者では、その活動は非熟練者と比して低下していたが、これは熟練者が指先でしっかりと刷毛を握っておらず刷毛が叩きつけられる時のみ作用していたと考えられる。

一方、非熟練者は、本筋の活動が著しく増加する結果となった。これは非熟練者が刷毛をぶれないように強く握るため、外在筋とともに本筋も同時に活動したと考えられる。

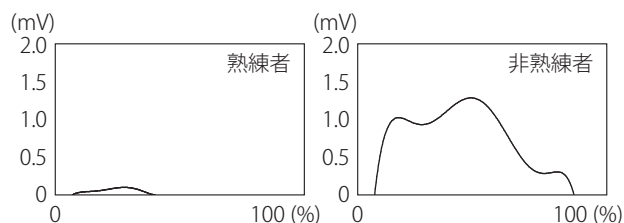


図11：短母指外転筋

##### 4.2.2 橈側手根屈筋

図12に示す通り、今回の結果は、熟練者は2峰性を示した。非熟練者は1峰性となり、熟練者とは質的に異なる筋活動パターンとなることが示された。これは熟練者がやはり波形分析と同様に手関節のスナップを効かせて作業していたことが理解できる。しかし非熟練者は熟練者とは異なり常に筋活動

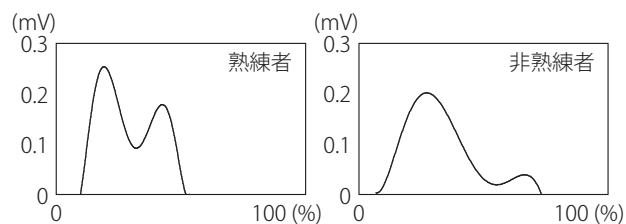


図12：橈側手根屈筋

を高める必要があったと解釈することができ、非熟練者の過緊張状態を示している。

##### 4.2.3 上腕二頭筋

図13に示す通り、熟練者では、2峰性を示しているが筋活動は低く、あまり活動していないことが確認された。一方、非熟練者は3峰性を示し、2峰性の活動の増加を認め、熟練者と比較し増加する傾向を示した。熟練者は2峰性となった理由は、刷毛を叩きつける際の肘が伸展していくのをブレーキ作用として活動し、刷毛が叩きつけられた瞬間に反射的に刷毛を引き上げる作用に活動していた。この2つの作用が2峰性という結果となったと考えられる。しかし、非熟練者は動作が安定しなかったため3峰性という筋活動パターンとなったと考えられる。

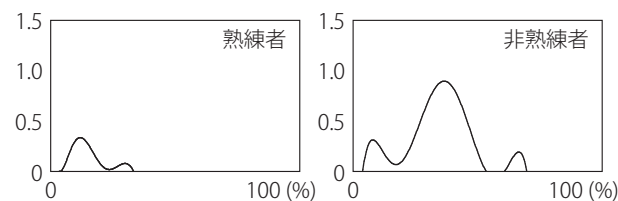


図13：上腕二頭筋

##### 4.2.4 三角筋中部線維

図14に示す通り、熟練者は動作中に持続する傾向が認められ、非熟練者は1峰性の活動を認めた。これは生波形のデータの結果の考察と同様に、動作中には三角筋中部線維の作用により、肩関節についてはやや外転位を保持しながら、動作を遂行していたことが、この筋活動パターンから解釈することができる。しかし、非熟練者は、持続性ではなく山形の活動となったということは、波形解析と同様に随意的に力を入れて動作を行っていたと示される結果であるといえる。

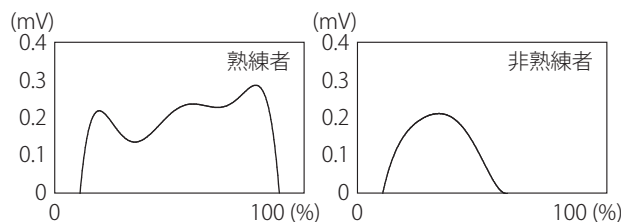


図14：三角筋中部線維

#### 4.2.5 僧帽筋上部線維

図15に示す通り、熟練者と非熟練者では、筋活動量は熟練者が圧倒的に高く、筋活動の持続時間が短い結果となった。一方、非熟練者は筋活動量が低く、持続時間は長い結果となった。活動性が高く持続性が短いということは、刷毛を叩きつける際に上肢帯全体が下方への力がかかるため、その力を本筋で制御していたと考えることができる。しかし、非熟練者は筋活動量が低く、持続時間は長いということは、熟練者のようなリズムカルに作業を行ってはおらず肩甲骨を安定させていないことが明らかとなった。

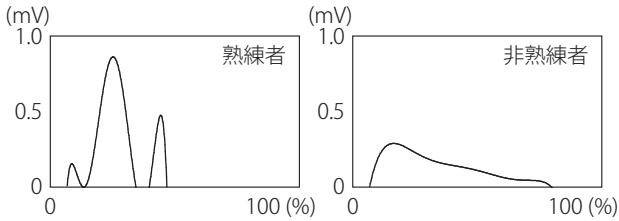


図15：僧帽筋上部線維

#### 4.2.6 僧帽筋中部線維

図16に示す通り、筋活動について熟練者と非熟練者とを比較すると、非熟練者では活動量は非常に高く、筋活動の持続時間も長い。一方で熟練者では活動量はそれほど高くなく、さらに活動の持続時間に関しても比較的短かった。これは、熟練者は動作中に、僧帽筋中部線維を積極的に用いて、肩甲骨を内転位で保持させてはいないことを意味している。一方、非熟練者は動作遂行時には、肩甲骨を内転させ、動作を遂行していたということが考えられた。これは波形解析時でも述べたように姿勢に由来すると考えられ、スムーズングにおいてもそれが証明された結果となった。

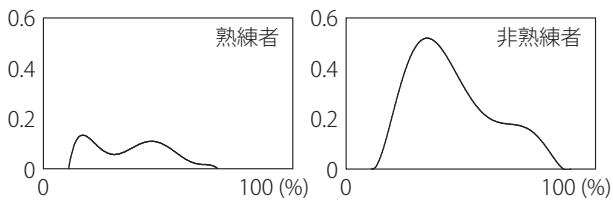


図16：僧帽筋中部線維

#### 4.2.7 上腕三頭筋

図17に示す通り、今回の結果は、熟練者と非熟練者共に2峰性を示した。熟練者では、筋活動量は低く、持続時間も短い。一方、非熟練者では、活動量が高く、さらには持続時間も非常に長いという結果となった。この結果から、非熟練者は打刷毛を和紙に力強く叩きつけているということが指摘できる。さらに上腕二頭筋とともに肘関節を固定していたと考えられる。しかし、熟練者では、大きな力を用いず、最小限の力で作業を行っていたことを示す結果となった。非熟練者は熟練者と同様に2峰性を示しているが、熟練者とは異なり上腕二頭筋と同時に活動していた。これは、上腕二頭筋とともに

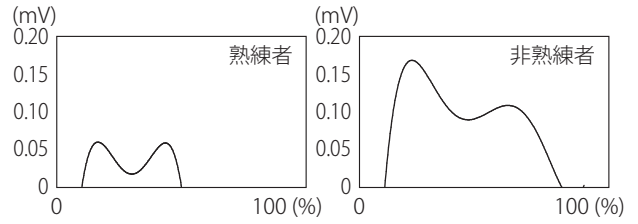


図17：上腕三頭筋

活動することで関節を固定していることを示している。一方で熟練者は上腕二頭筋との関係は交互に活動が示され、いかに力を使っておらず反射的に作業を行っていたかを解釈することができる。

#### 4.2.8 短橈側手根伸筋

図18に示す通り、今回の結果では、熟練者と非熟練者ともに1峰性の活動を示した。熟練者は非熟練者と比較して活動量は同程度であるが、活動の持続時間は著しく短い。これは、やはり瞬間的に手関節の背屈が生じさせていたことが分かり、打刷毛を煽るような、スナップを効かせた動作となっていたことを示している。しかし、非熟練者では一峰性とはいえ持続的に活動し、熟練者とは質的に異なることが分かった。これは橈側手根伸筋の結果と同様であることから拮抗筋同士が同時に活動することで手関節を固定していたことが示される結果となった。

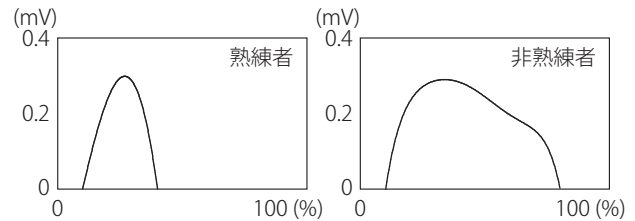


図18：短橈側手根伸筋

#### 4.2.9 第一背側骨間筋

図19に示す通り、熟練者は非熟練者とは異なり2峰性を示した。これは、筋活動のタイミングを比較すると、刷毛を叩打したと同時に活動していた。この結果から、刷毛を叩打したと同時に刷毛をしっかり和紙に把持していたということが考えられた。また、熟練者の後方の成分は刷毛を叩いた後に瞬間的に刷毛を引き上げて、その後、上方へ移行した刷毛が止めるために作用した結果と考えられた。このことから、熟練

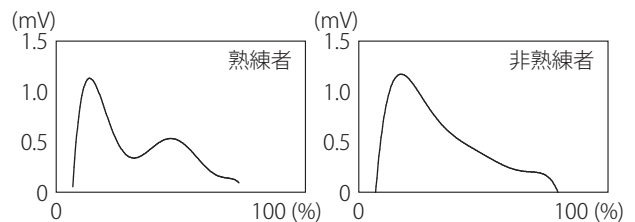


図19：第一背側骨間筋



者は必要な瞬間のみに力を少し入れて作業していることがスムージング結果により分かった。しかし、非熟練者にはそのような2峰性が認められず、前半の成分のみの活動を示すのみとなった。これは持続的に力が入っているために要所、要所での力加減を調節していないことが分かった。

#### 4.3 叩打動作による %MVC

実験前の聞き取りにて主観的疲労について調査したが、その主観的疲労感が客観的な計測結果と相関するかを検証するため%MVCにより検証した。%MVCは、最大活動時の筋活動を100とした時の作業時の筋活動の%を算出する方法で、筋力と相関するということがいわれている。このため筋活動が増加する場合には、運動単位の発火頻度が増加していることを意味するため、多くの $\alpha$ 運動ニューロンを参加させる必要があるということ筋疲労が生じていることを示すことができる。また持続活動している最中に%MVCが低下することも運動単位が発火できなくなったことということで、これも筋

疲労といえることができる。

全体的な傾向としては、熟練者の%MVCが非熟練者と比較し10%程度のみ活動でしかなく、ほとんど序盤は力を使っていなかったということが確認された。非熟練者は、橈側手根屈筋、僧帽筋中部線維で最大筋活動の40%程度の筋活動であった。第一背側骨間筋に関しては80%と高値を示した。その他の筋の活動は20%以下を示したが、僧帽筋上部線維以外は熟練者よりも高い値を示した。その結果を図20に示す。

終盤での筋活動では、非熟練者の筋活動は序盤と比較して全体的に高値を示した。序盤と比較し%MVCが低下した筋が確認された。それらの筋は橈側手根屈筋と第一背側骨間筋であった。熟練者に関しては、橈側手根屈筋、僧帽筋中部、短橈側手根伸筋、第一背側骨間筋が序盤と比較して増加する傾向を認めた。序盤とほぼ同程度であった筋は、短母指外転筋、上腕二頭筋、三角筋中部、僧帽筋上部であった。非熟練者と比較すると序盤で筋活動の増加が認められていた僧帽筋上部線維は低下を示していた。その結果を図21に示す。

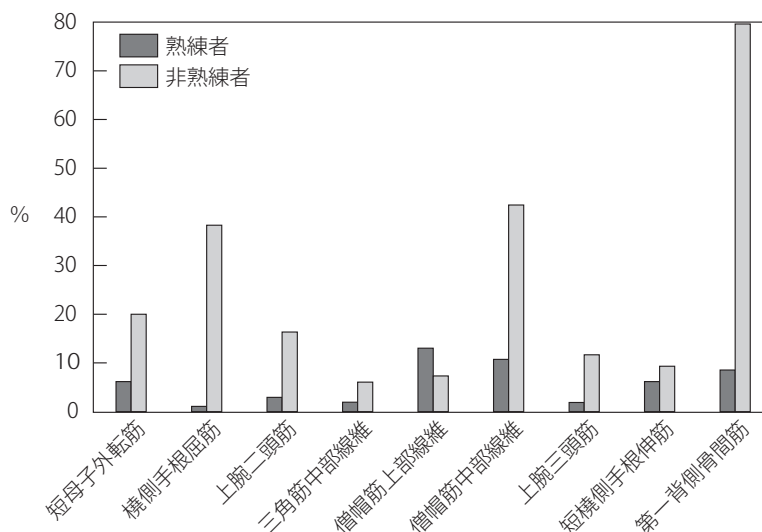


図20：序盤の%MVC

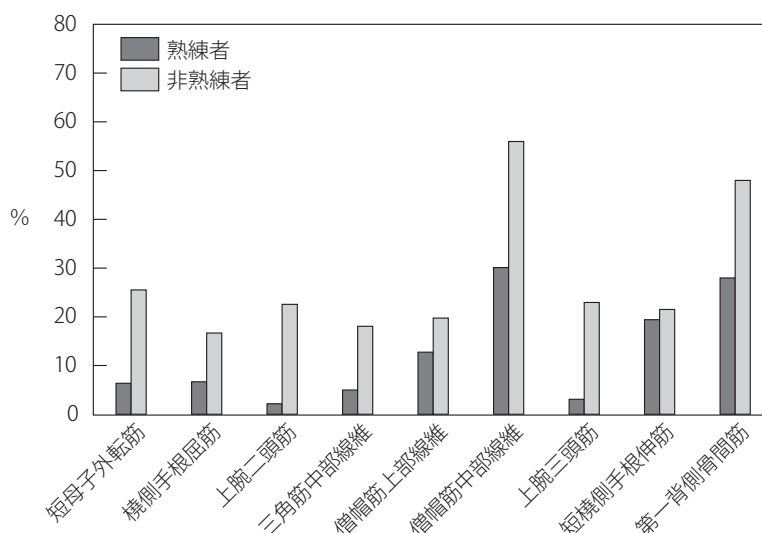


図21：終盤の%MVC



非熟練者では、橈側手根屈筋、僧帽筋中部線維、第一背側骨間筋が序盤に高値となった。橈側手根屈筋に関しては、40%程度であり、終盤は20%程度まで低下を示した。熟練者は、序盤で数%であった活動が、終盤ではやや増加することを示した筋が多かった。拮抗筋である短橈側手根伸筋は、非熟練者は序盤の10%程度の活動から終盤には20%程度に増加した。熟練者に関しては、序盤の10%弱から終盤には20%程度まで増加し、非熟練者と同程度の増加を示す結果となった。手関節は両筋の活動により安定性を得ることができる。または手関節の作業時のスナップにも寄与する筋である。今回の結果からは、両筋の変化においては橈側手根屈筋の変化が大きかったが、これは非熟練者が序盤においては刷毛を叩きつけており、終盤になるとその力が低下したと考えられる。

この結果からでは、スナップを利かせて作業を行っていたのか、手関節を安定させるために作用していたかは判断することができない。しかし、熟練者の橈側手根屈筋がほとんど活動していないことから、序盤から終盤において熟練者は刷毛を叩きつけることはしておらず、上腕と刷毛の重さを利用して従重力的に作業を行っていたと考えられる。そして、慣性に従って手関節は掌屈して刷毛の毛先が紙に当たった瞬間に引き上げるために短橈側手根伸筋が作用していたことが考えられる。熟練者の短橈側手根伸筋の活動が終盤に増加したのは、引き上げる力が増加したためであろうと考える。しかし、本筋が増加をしても20%程度であったことから、あまり力を使って作業していたとは考え難く、伸張反射が主として作用した活動であり、筋疲労は生じ難いと考えられる。一方、非熟練者は橈側手根屈筋の活動から随意的な筋活動が生じており、拮抗筋である短橈側手根伸筋がこれを制御していたためと推測され、力を用いて叩打動作を行っていたと考えられる。これは終盤の橈側手根屈筋の活動低下により随意的に作業をしていたことが考えられ、熟練者の筋活動とは質的に異なる筋活動であると説明することができる。

熟練者の僧帽筋中部は序盤では10%程度の活動で、終盤は30%程度と20%程度の増加が認められた。一方、非熟練者においては、序盤から40%程度で、終盤には60%程度と20%程度の増加を認めた。20%程度の増加は熟練者も非熟練者と同程度であるが、はるかに非熟練者が筋活動を有意に増加し、作業を行っていたことから、同じ20%程度の増加ではあっても、筋活動を非熟練者において過剰に行っていたことが示される結果となった。肩甲骨を安定させる筋としては、その他に、今回の計測筋では僧帽筋上部線維がある。僧帽筋上部線維の活動が熟練者は序盤と終盤は同程度の活動であったが、非熟練者においては、熟練者よりも序盤において低値を示しており、終盤においては熟練者よりも高値を示す結果となった。これは、作業時に僧帽筋上部線維を用いて作業を行っていたことが示される結果となり、筋活動は序盤から終盤まで一定に活動していないことを意味する。このことから、作業時には熟練者は中枢部の安定性を担う筋活動が補償されることで、肩甲骨を安定させながら作業を行えているということが容易に推測できる。しかし、非熟練者においては、僧帽筋上部の活動が一定せず、それを代償するために僧帽筋中部線維の活動が過剰に高まったと考えることができる。これは、

非熟練者では中枢部の安定性が作業時に補償されていないことが考えられ、中枢部の不安定性により安定した作業を継続して行うことが難しいのではないかと考える。

第一背側骨間筋に関しては、熟練者の序盤は10%程度であり、終盤は30%程度と20%程度の増加であった。しかし、非熟練者は序盤が80%程度で、終盤では50%程度で、筋活動の低下が認められた。この筋は、刷毛を把持するために作用する筋であるため、この活動が高いということは、それだけ力を使って刷毛を把持していることが考えられる。また、熟練者は増加する傾向であり、終盤に力をやや強めていたが、非熟練者は30%程度の著しい低下を示した。これは、序盤80%程度とかなりの力で刷毛を持って作業を行っており、終盤では力を持続できず疲労してしまったと考えることができる。ここからも非熟練者は随意的に力を入れて作業をしており、熟練者は力を抜いてリラックスして作業を行っていたと判断される。また同じ手内在である短母指外転筋は、熟練者は、序盤と終盤では筋活動は10%弱とほとんど力は使われていないことが確認できた。一方、非熟練者では序盤が20%程度で終盤が30%弱程度の値まで増加している。これが活動しているということは母指を外転させているということになる。刷毛を把持する際には熟練者は機能的な肢位で刷毛を把持しており、その際の母指はやや外転位であるが、積極的に外転しているのではなかった。しかし、非熟練者で作用しているということは刷毛を把持する際に母指を外転させて把持していたと考えられ、母指が外転するということは、刷毛を掴んで作業を行っていたと考えられる。そのため、このような筋活動が増加したと考えられる。第一背側骨間筋との関係性から、やはりその他の筋と同様に熟練者は動作に適した力で作業を行っており、非熟練者は末梢部である指に力を入れて作業を行っていたという結果となった。

## 5. 結論

今回、筋電図生波形の分析とともに一動作時の筋活動のスムージングをおこない、各筋の活動の特徴を抽出し分析を試みた。その結果、全体的に非熟練者の筋活動の量と持続時間は、熟練者と比較して非常に高く、長い傾向を示した。これにより非熟練者は、上肢全体を過剰に緊張させ、動作を遂行していることが、このスムージングによってさらに明らかとなった。その一方で、熟練者は、ほとんど力を用いることなく、リラックスして、いわゆる肩の力を抜いて動作を行っていることが明らかとなった。

本研究によって、叩打動作における熟練者と非熟練者がおこなっている筋活動を明らかにすることができた。そして、いかに熟練者が効果的に動作を遂行させているかが理解できた。技術習得が未完である非熟練者の育成にも用いられる資料になると考えられる。

## 謝辞

本研究はJSPS科研費25350327及び16K01088の助成を受けたものです。

---

#### 引用文献

- 早川典子・木川りか・川野辺渉・樋口恒・岡泰央・岡岩太郎  
(2002). 古糊の物性と化学組成に関する基礎研究. 保存科学, Vol. 41, 15-28.
- 早川典子・君嶋隆幸・楠京子・岡泰央 (2004). 装潢における打ち刷毛の効果—接着力を中心に—. 保存科学, Vol. 43, 9-16.
- 木塚朝博・増田正・木竜徹・佐渡山亜兵 (2006). 表面筋電図. 東京電機大学出版局.
- 左明・山口典孝 (2009). カラー図解 筋肉のしくみ・はたらき事典. 西東社.

(受稿：2016年6月6日 受理：2016年7月11日)