

電動工具に関する人間工学的研究
—グリップの違いについての評価—

迫 秀 樹
蜂須賀 智 弘
森 亮 太

電動工具に関する人間工学的研究 – グリップの違いについての評価 –

Ergonomic study on power tools – Evaluation of the difference in grip

迫 秀樹

デザイン学部生産造形学科

Hideki SAKO

Department of Industrial Design, Faculty of Design

蜂須賀智弘

(株)マキタ開発技術本部技術研究部

Tomohiro HACHISUKA

Technical Research Department, Makita Corporation

森 亮太

(株)マキタ開発技術本部技術研究部

Ryota MORI

Technical Research Department, Makita Corporation

電動工具のグリップ部分を人間工学的観点から評価した。市販のスクリュードライバ（工具B、C）とグリップ部分に滑りにくい加工を施した改良工具（工具A）の計3種類を被験者10名が把持し、筋電図、三次元動作、主観申告などが測定された。被験者にさせた動作は、肘静止条件、肩静止条件、動作条件の三種類である。その結果、工具Aは他の工具よりも有意に低い%MVCを示し、その際の動作量には有意な差は無かった。グリップに滑りにくい加工を施すことは、把持をする際の筋負担を軽減できることが示唆された。

The grip of the power tool was evaluated from the viewpoint of ergonomics. Ten subjects grasped the improved screwdriver (tool A) whose grip was created to minimize slippage and two commercial screwdrivers (tool B and tool C), and the electromyogram (EMG), three-dimensional motion, and subjective evaluation were measured. Each subject performed three activities: stillness at elbow height, stillness at shoulder height, and motion. As a result, tool A showed significantly lower %MVC than other tools, and there was no significant difference between tools in the quantity of motion. It is suggested that the load of muscles during holding of the tool decreased due to the minimal slippage of the improved grip.

1. はじめに

人間は手で種々の道具を用いるが、その道具の良否を客観的指標から論じることは難しい。道具を使用する際の姿勢や動作が多岐にわたる上、手の構造も複雑なためである。しかしながら、近年ではそのような道具においても使いやすさや負担の少なさが求められる上に、それを消費者に伝えて行かねばならない時代である。とりわけ長時間使用する道具は、負担や使いにくさが僅かな差異であっても、それが蓄積されて疲労や疾患となって現れる可能性があるためにそれを顕在化させることは重要である。

作業現場などで使用する電動工具はまさにそういった道具だと言える。様々な姿勢や動作で用いる上に、長時間使用し続ける可能性のある道具だからである。その評価はこれまでに、疾患に結びつきやすい振動からの観点⁽¹⁾など、および把持部分の観点からの研究が多くなされてきた。例えば、八高⁽²⁾は建築ビス打ち用の電動工具について、実際にビスを打たせて主観申告から手の部位別に評価した。才原⁽³⁾は充電インパクトドライバを実際に使用させ、筋電図から評価した。佐藤⁽⁴⁾は手袋型の把持圧センサを開発し、充電ドリルドライバを把持圧の観点から評価した。いずれも、実際にネジ締めなどの作業をさせた際の測定である。しかしながら、そのような動作の場合、その作業に対する経験値の問題が伴う。つまり、被験者の中で電動工具の使用履歴が異なれば、それが結果に影響を及ぼす可能性があるということである。そのため、使用履歴に左右されない評価動作から検討する必要がある。

また、把持動作において握りやすい直径⁽⁵⁾やその際の接

触部位⁽⁶⁾などについて基礎的な観点からの研究も進められてはいるが、電動工具のグリップ形状は単純な形状ではなく、理論的に負担の少ない形状を導き出すことは困難である。現実的にはそれらの知見を参考としつつ、種々の動作を想定した上で実際のグリップにおける改良を徐々に行って検討していかねばならない。

そこで今回は電動工具のグリップ部分における把持性について着目し、その改良が把持のしやすさや負担の軽減などに寄与するかどうかの検討を目的として実験を行った。その際、被験者に電動工具の使用履歴における差異のあることが予想されたため、把持のみに重点を置いた想定動作によって評価することとした。また、可能な限り多面的に評価するため、把持時の筋活動を筋電図（EMG：Electromyogram）によって捉え、主観申告および三次元動作分析と合わせた検証を試みた。

2. 方法

2-1. 被験者

実験に参加した被験者は男子大学生10名である。被験者へは実験内容について説明し、同意を得た上で実験に参加させた。利き手は1名が左で9名が右であり、利き腕に疾患を持っている者はいなかった。実験前および実験中にマルチン式人体計測器を用いて、肩峰高、肘頭高、上肢長、前方上腕長、第三指手長、手幅、身長などを計測した。また、実験後に握力を1回のみ測定した。それらの値を表1に示す。なお、肩峰高および肘頭高は後述する工具の目標を定めるための値であるので、靴を履いたまま測定した。

表1. 被験者データ

No.	年齢	利き手	肩峰高*	肘頭高*	上肢長	前方上腕長	第三指手長	手幅	身長	握力
1	18	右	1377	1054	707	440	185	79	1682	38.0
2	23	右	1311	988	691	410	180	76	1602	36.0
3	22	右	1412	1074	754	463	194	84	1730	39.0
4	26	左	1434	1063	784	448	188	76	1705	35.5
5	19	右	1465	1087	790	472	191	80	1804	47.0
6	19	右	1367	1054	740	454	200	83	1680	45.0
7	22	右	1338	1023	714	430	183	76	1651	38.0
8	22	右	1422	1094	743	450	198	82	1738	44.0
9	21	右	1446	1085	754	460	195	78	1727	43.5
10	21	右	1408	1038	758	461	194	86	1730	62.0
平均	21.3		1398.0	1052.8	743.5	448.8	190.8	80.0	1704.9	42.80

肩峰高から身長まで単位はmm、握力はkg。肩峰高と肘頭高は靴を履いた状態で測定。

既報のデータ⁽⁷⁾によれば、日本人成人男性の平均身長は1714.0mmであり、第三指手長の平均値は190.8mmである。また、日本人男性の18歳から20代前半の握力は47.1kgから48.4kg程度である⁽⁸⁾。今回の被験者は、体格としては平均的であり若干握力が弱い傾向にあると言える。

2-2. 実験条件

評価対象工具はスクリュードライバ（図1に例を示す）である。グリップ部分に改良を施した工具Aおよび市販されている工具Bと工具Cの三種類を実験の対象とした。それぞれの把持部分を図2に示す。スクリュードライバは、主に石膏ボードなどの取り付けに用いられる工具であるが、その際、図1に示すような持ち方をすることが多い。工具Aは、その把持部分に若干の膨らみをもたせて包み込むような形状とし、さらにラインを入れることにより摩擦力を高めるようにしている。工具BとCは、それらの特徴を持たず、親指と人差し指が当たる面はフラットな形状をしている。

実験の際は工具にマスキングを施し、メーカー等が分からないような状態で持たせた。測定の前に、被験者には動作内容と工具の持ち方について説明し、数回の練習を行わせた。

被験者にさせた動作の条件は、図3に示す3種類とした。肘静止条件は肘関節を90°に屈曲し、10秒間静止する条件である。その際、工具先端を肘頭高に位置するマーカールに200mmの距離を保って合わせることを指示した。肩静止条件は肘関節を伸展した状態で上肢を前方へ伸ばし、10秒間静止する条件である。工具先端を肩峰高に位置するマーカールに200mmの距離を保って合わせるように指示した。動作条件は1秒に1回のメトロノームに合わせて、上肢を下垂した状態から肘静止条件の状態まで動かし、元に戻すという一連の動作を繰り返す条件である。肘を屈曲させた際の目標は肘静止条件と同様とした。動作時間は30秒（15回の上下動）とした。被験者に疲労が蓄積することを避けるため、肘静止条件は3回行い、その他の条件は1回のみとした。いずれの条件も手袋は使用せずに利き腕で持ち、視線は目標となるマーカールに合わせるように指



図1. スクリュードライバ（左）とその把持例（右）



図2. 実験で評価した工具
(左：工具A、中央：工具B、右：工具C)



図3. 実験動作 (左：肘静止条件、中央：肩静止条件、右：動作条件)

示をした。

2-3. 測定項目

それぞれの工具把持時の筋負担を調べるため、長橈側手根伸筋、腕橈骨筋、橈側手根屈筋、尺側手根屈筋の4ヶ所における筋電図を測定した。いずれも前腕部分の筋肉である。筋電図は、ハイカットフィルターを使用せずに1000Hzのサンプリング周波数でA/D変換し、連続(肘静止条件、肩静止条件は10秒、動作条件は30秒)して記録した。実験後、個人差などを可能な限り除外するために各条件時の筋電図積分値を最大随意収縮時の積分値で除することにより、正規化(%MVC化)を行った。

工具把持時の動作を検証するために三次元動作を計測した。使用した手法は、反射マーカーを身体各部位に貼付し、反射光を6台のカメラで測定する光学式システム(Vicon MX)である。マーカーを貼付した位置は、工具先端、手甲中央、肘頭、肩峰、目標とする高さに合わせて三脚上部の5ヶ所とした。計測は筋電図と同様に連続で行い、サンプリング周波数は60Hzとした。実験終了後、工具先端マーカーが把持中に移動した距離を求めた。

さらに、各条件で主観申告を求めた。今回使用したのは、左右に両極となる言葉を配置したアナログスケールの評定

尺度法である(図4を参照)。被験者はその工具に対しての主観を矢印で示す。「持ちやすい」-「持ちにくい」、「滑りやすい」-「滑りにくい」の二種類の尺度を使用した。動作条件別、工具条件別に記入を求め、「持ちにくい」または「滑りやすい」を0とし、「持ちやすい」または「滑りにくい」を100とする数値化を行った。

いずれの測定項目においても、工具条件間の差について検定するために、多重比較(Bonferroni-Holm法)を行った。有意水準は0.05とした。

3. 結果

各筋における筋電図の%MVC(平均値+標準偏差)を図5~8に示す。図中の縦軸は1.0が最大発揮時の筋活動と同等であることを意味しており、基本的には1.0を超えることはない。%MVCを求めた結果、多くの条件で1.0を超えていたものが1名、肩静止条件の一部のみを超えていたものが2名存在した。そのため、それらを除外し、肘静止条件と動作条件は9名のデータ、肩静止条件は7名のデータで検討した(グラフもその被験者数で示している)。多重比較法による検定の結果、図に*で示した条件間に有意な差が認められた。

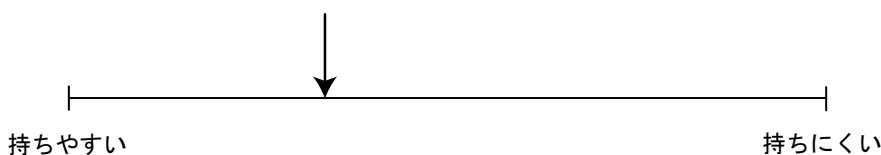


図4. 主観申告(評定尺度法)の例

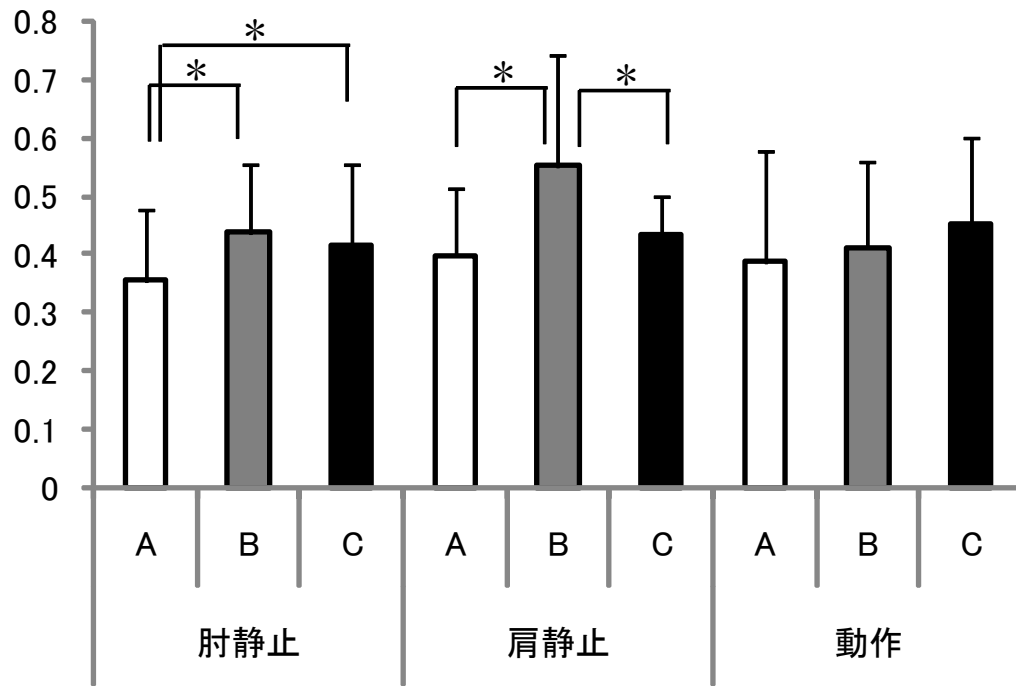


図5. % MVC (長橈側手根伸筋)

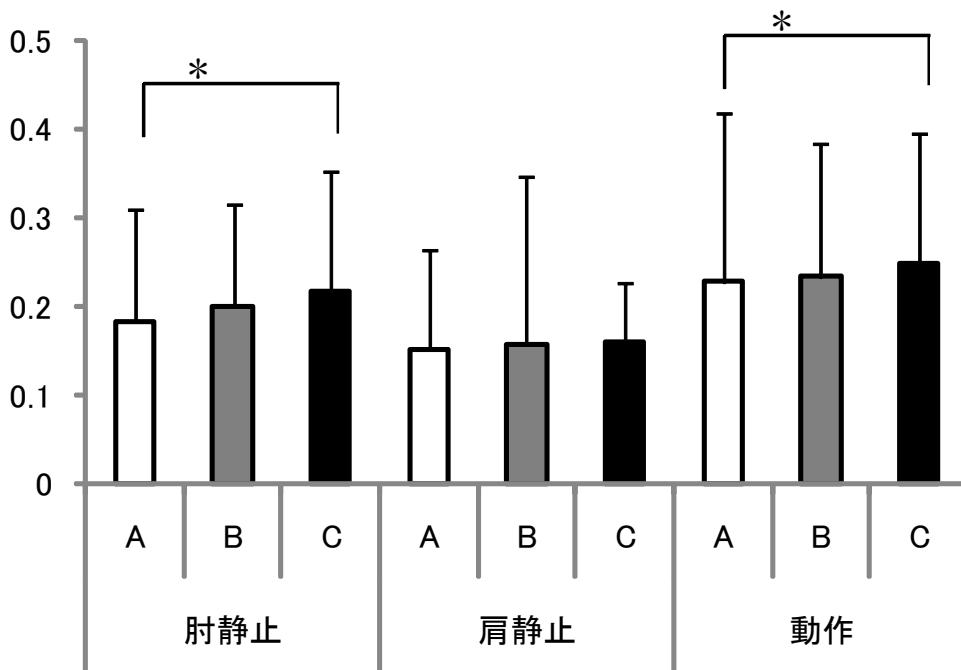


図6. % MVC (腕橈骨筋)

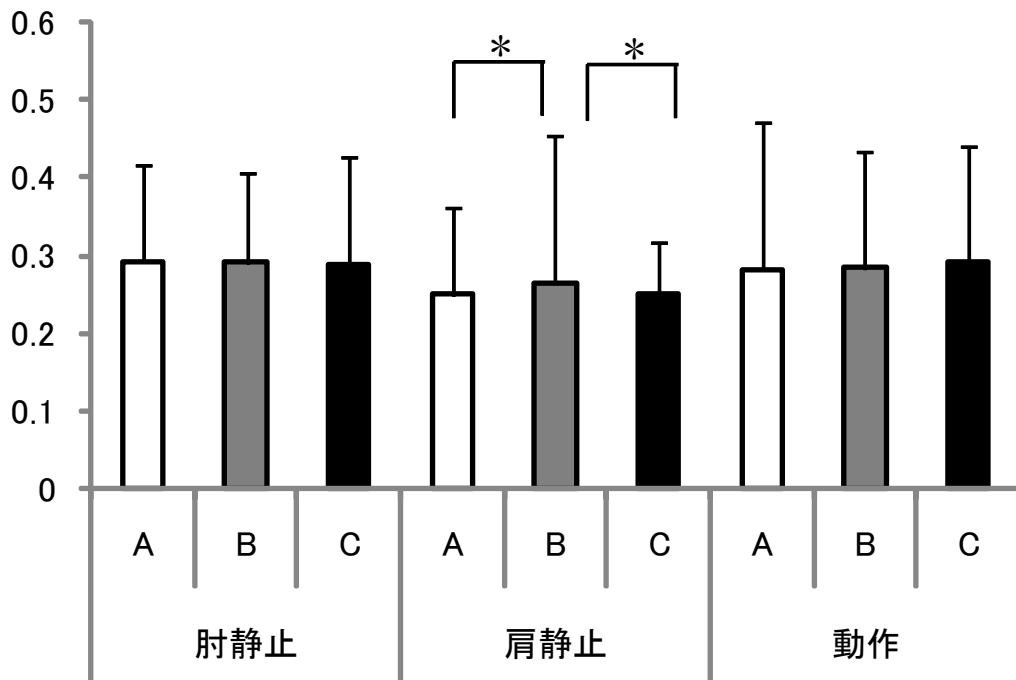


図7. % MVC (橈側手根屈筋)

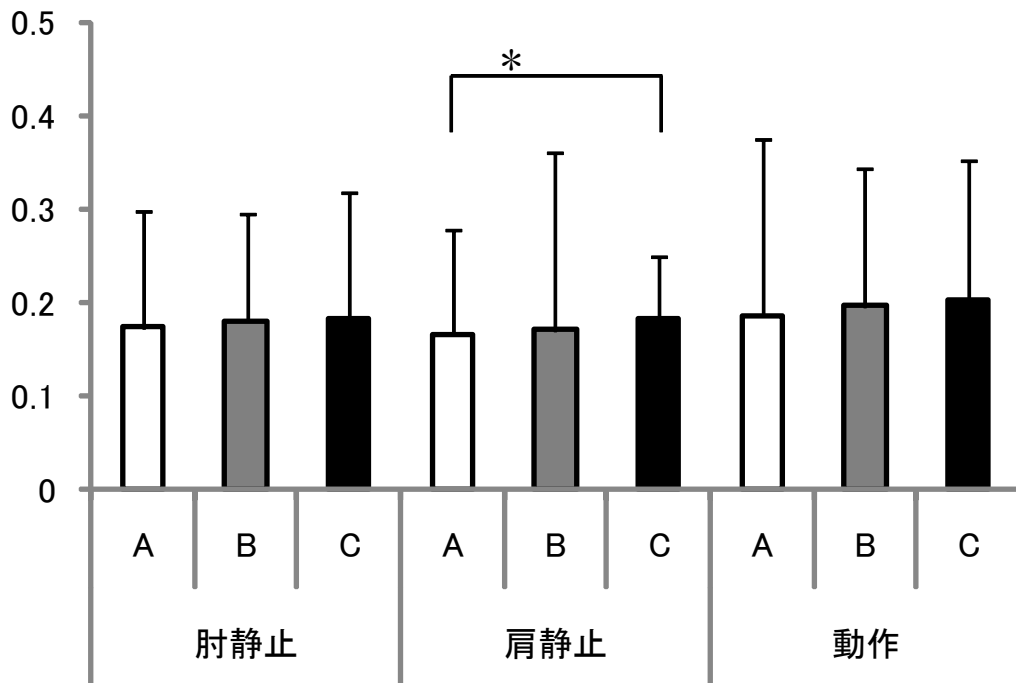


図8. % MVC (尺側手根屈筋)

三次元動作分析による工具先端部の総移動距離（平均値＋標準偏差）を動作条件別に図9～11に示す。多重比較法による検定の結果、工具条件間に有意な差は認められなかった。

評定尺度を用いた主観申告の結果（平均値＋標準偏差）を図12と13に示す。図12は高い値ほど被験者が「持ちやすい」と評価したことを表し、図13は高い値ほど「滑りにくい」と評価したことを表す。多重比較法による検定の結果、図に*で示した条件間に有意な差が認められた。

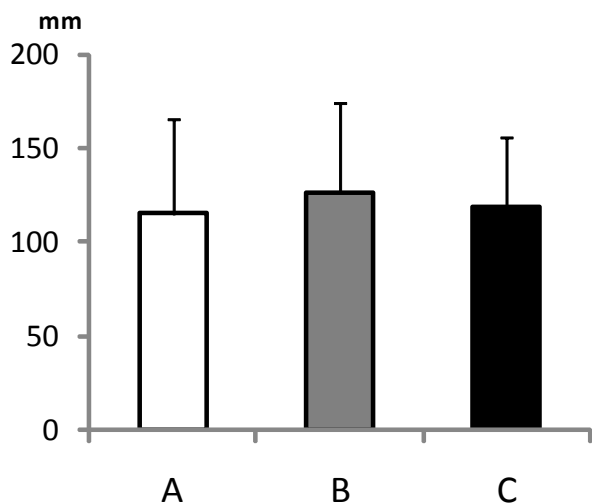


図9. 工具先端移動距離 (肘静止条件)

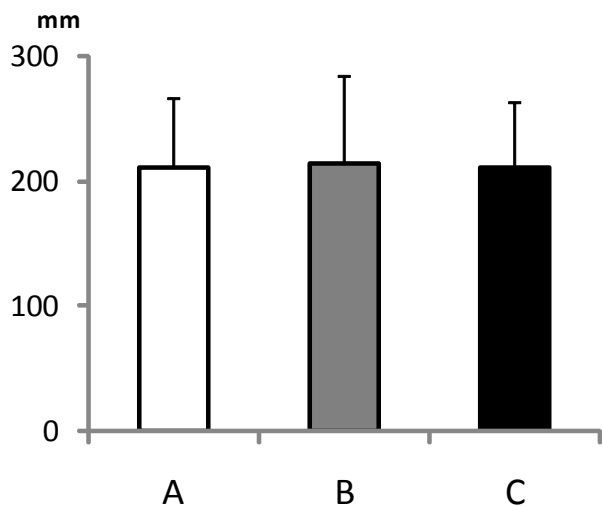


図10. 工具先端移動距離 (肩静止条件)

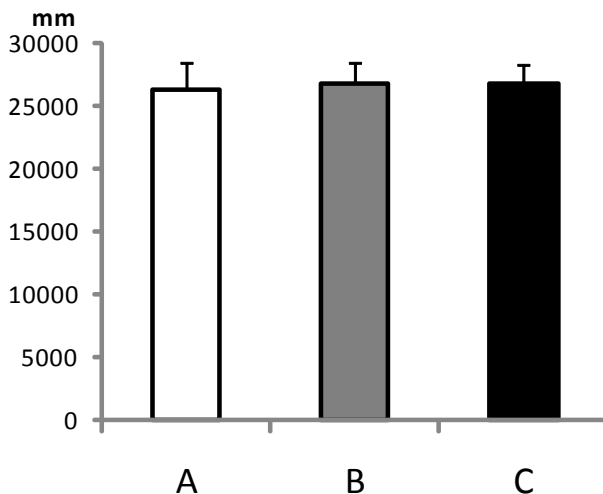


図11. 工具先端移動距離 (動作条件)

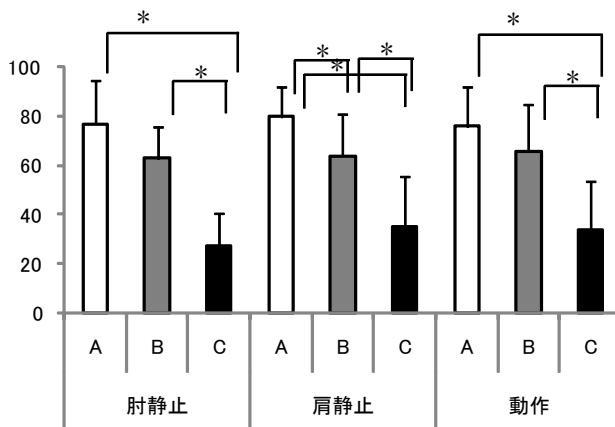


図12. 主観申告 (持ちやすさ)

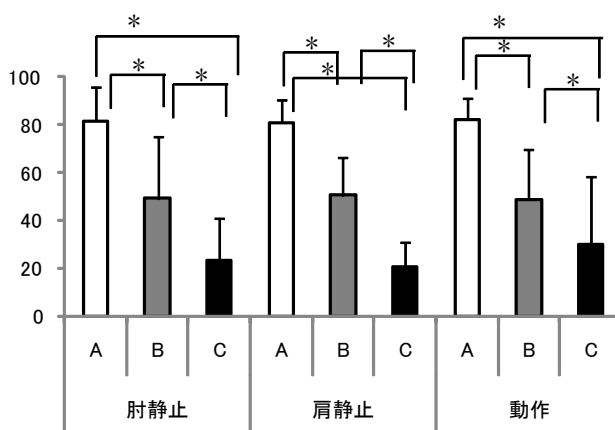


図13. 主観申告 (滑りにくさ)

4. 考察

筋電図の結果において動作の条件や筋部位により異なるものの、工具A-BやA-Cの間に有意な差が認められた。工具Aは肘静止条件で長橈側手根伸筋、腕橈骨筋において筋活動が少なく、肩静止条件では長橈側手根伸筋、橈側手根屈筋、尺側手根屈筋において、動作条件では腕橈骨筋において少なかった。つまり、工具Aを把持した際の筋活動量は、一部ながら他の工具よりも少なかったといえる。三次元動作分析による工具の先端移動距離の結果から見ると、工具間における有意な差は認められていない。したがって、工具間における筋活動量の違いは、作業量の違いによるものではなく工具の滑りやすさや持ちやすさといった把持に関わる要因によるものであると推察される。

肘静止条件や肩静止条件において活動が少なかった長橈側手根伸筋は手首の背側屈曲（背屈）において強く働き、「手を握るのを助ける筋」とも言われる⁽⁹⁾。スクリュードライバを静止して把持するためには、手首を背屈させ握力を発揮させる必要がある。滑りやすく持ちにくい工具では、把持姿勢を安定させるためにさらに強い力が必要となるために、筋活動の違いとなって現れることが予測された。工具Aは主観申告にも表れているように、工具Bや工具Cよりも滑りにくくて持ちやすいと評価されている。したがって、工具Aはそのグリップ部分の工夫による滑りにくさが筋活動を減らし、他の工具よりも筋負担が少なくなったと考えられる。

さらに、関節を固定するためには各部位の筋肉が同時に収縮することとなるが、滑りやすければ関節の固定においても困難となるために様々な部位の筋活動に影響を及ぼすことが予測された。腕橈骨筋は長橈側手根伸筋らとともに肘関節を屈曲させる際に働く。また、橈側手根屈筋や尺側手根屈筋は、長橈側手根伸筋とは逆に手首の掌側屈曲（掌屈）へ働く。これらの筋肉において特に肩静止条件や動作条件において有意な差が認められたのは、関節を固定するために筋活動が高まったことが原因と言えよう。

本実験では、肘静止条件、肩静止条件、動作条件という3種類の作業を行わせた。実際に使用する際の作業で最も現れる可能性が高いのは肘静止条件のような姿勢だと考えられたが、肩のような高い位置での作業や、工具操作における上下動なども実際には想定される動作である。いずれ

にしても、本実験で被験者がしたのは把持したままで静止か動かすかという作業であり、実際に工具の操作はしていない。工具の操作に対する習熟性が結果に影響を及ぼさないように考慮したためである。結果として、動作条件よりも肘静止や肩静止条件の方が筋活動の差異が多く現れた。つまり、グリップ部分の把持性を検討するには、動作を伴うようなものよりも、静止させた方が差を見だしやすい。動作をさせたり、大きく動くような作業をさせたりする場合は、グリップ性の差異を超えて大きな把握力を持って把持するためと考えられる。

今回の結果を総合的に見れば、グリップ部分に滑りにくい加工を施した工具Aは他の工具よりも筋負担が少なかった。実験では安定した筋電図を得るために評価する時間は10秒から30秒としたが、実際の使用現場を想定すると、動作や休憩を伴うにせよかなり長時間にわたって使用されるはずである。したがって、実使用現場ではさらにその影響が増大し、筋疲労へと繋がるのが予想される。本実験結果から、グリップ部分における僅かな加工でも使用中の負担を軽減し、使いやすさの向上へと繋がる可能性があることが示唆された。

引用文献

- (1) 電動工具振動の人体影響評価: 蜂須賀智弘, 畝山常人, 榎原久孝, 騒音制御, 26(6), 390-393, 2002.
- (2) 電動工具の柄の形状と使用感の関係: 八高隆雄, 高木宣昭, 印南輝久, 山本圭治郎, Dynamics & Design Conference 2006, 640(1-4), 2006.
- (3) 充電インパクトドライバの使いやすさの評価: 才原文, 服部託夢, 吉田正樹, 山田穰, 三原泉, 電子情報通信学会技術研究報告, 106(80), 29-32, 2006.
- (4) 把持感覚適合性評価を応用した工具グリップ形状の設計事例: 佐藤滋, 計測と制御, 41(10), 749-752, 2002.
- (5) 円筒物体把握における握りやすさの感性評価: 八高隆雄, 山本圭治郎, 小山昌洋, 兵頭和人, 日本機械学会論文集C編, 62(602), 3999-4004, 1996.
- (6) 円筒物体の上げ手握り時の握りやすさの感性評価と手のひらのアーチの関係: 八高隆雄, 山本圭治郎, 堀健一, 日本機械学会論文集C編, 66(641), 202-207, 2000.
- (7) 設計のための人体寸法データ集, 生命工学工業技術研究所編, 日本出版サービス, 1996.
- (8) 健康体力評価・基準値事典, 日丸哲也他編, ぎょうせい, 1991.
- (9) 分冊解剖学アトラス (第4版), W. Kahle, H. Leonhardt, W. Platzer (越智淳三訳), 文光堂, 1995.

