

加圧・非加圧状態における書字行為時の筋疲労解析

堀田 優 今宮 良道 伊藤 建一[†]

新潟工科大学 〒945-1195 新潟県柏崎市藤橋 1719 番地

E-mail: [†] itoh@iee.niit.ac.jp

あらまし 表面筋電図による筋疲労の解析には、一般的に Fast Fourier transformation (FFT)が用いられる。しかし、低程度の疲労の検出が難しい為、低負荷運動の筋疲労解析は困難とされている。検出能力を向上させるために、著者らは加圧の効果に着目した。加圧状態で運動をすると、血流を制限するだけでなく、筋組織内の乳酸の増加を促す作用が生じる。本研究では、腕の付け根を加圧した状態で低負荷運動である書字行為の筋電図を解析した。その結果、被験者を加圧状態下に置く事が、疲労の検出に有効で有る可能性が示唆された。

キーワード 筋疲労, 加圧状態, 非加圧状態, 筋電図

Analysis of muscle fatigue during hand writing in state of pressurizing and non-pressurizing.

Yu Hotta Yoshimichi Imamiya and Kenichi Itoh[†]

Niigata Institute of Technology, 1719 Fujihashi Kashiwazaki 945-1195 Japan

E-mail: [†] itoh@iee.niit.ac.jp

Abstract Fast Fourier transformation (FFT) has been used as the common way to analyze muscle fatigue using surface electromyogram(EMG). However, it is known to be difficult to measure muscle fatigue of a low loading movement since a low grade fatigue is hard to detect. In order to improve detection capacity, we paid attention to pressurizing. Pressurizing during movement causes the mild congestion of blood flow as well as the increase of lactic acid in the muscular tissue. In this study, we analyzed EMG during hand writing in state of pressurizing of a shoulder joint. As a result, it is suggested that pressurizing is effective for measuring muscle fatigue.

Keyword muscle fatigue, pressurizing, non-pressurizing, electromyogram (EMG)

1. はじめに

筋疲労に伴い、筋線維伝導速度が低下する。原因として、(1)乳酸等の代謝産物の蓄積により、細胞外 pH が変化し、それにより活動電位の伝導速度が低下する事、(2)速筋線維が疲労しやすい性質の為に活動を停止し、遅い伝導速度の遅筋線維が活動し続けるという事が同時に起こった為だと考えられている [1]。

筋疲労の解析手法として、時系列信号に対し FFT 解析を用い、変換されたパワースペクトルを処理し、平均周波数ないしは中央周波数を算出、時間経過に伴う周波数の減少から疲労性変化を見る手法 [2]、表面筋電図の持つ非線形性と、生体の持つカオス性に着目し、非線形解析手法であるカオス解析手法を用いて表面筋電図の解析を行う手法 [3]、血中乳酸値の測定を行う手

法 [4] 等が挙げられる。

表面筋電図による筋疲労の解析としては、FFT による解析が主流である。しかし、静止時ないしは高負荷運動を対象とした研究が多く、低負荷運動に対する研究はあまり行われてきていない。低負荷運動は名の示す通りに、低程度の疲労が生じる。低程度の疲労は検出し難い事が、低負荷運動に対する筋疲労解析を困難なものにしている。そこで、腕の付け根を圧力で締め、血流を制限した状態にし、筋組織内の乳酸の増加を促す事により、FFT 解析による疲労の検出が容易になるのではないかと仮定した。本稿では、低負荷運動として書字運動を選択し、加圧状態、非加圧状態における筋疲労の解析を行い、結果を考察する事とした。

2. 実験方法

2.1. 対象

被験者は年齢 22 歳の健常成人男性とした。利き腕は右利きであった。被験者には、事前に実験の内容をよく説明し、理解を受けた上で、実験参加への合意を得た。

2.2. 条件

加圧状態(腕の付け根を圧力で締める事で、血流を制限した状態にし、筋組織内の乳酸の増加を促す状態(図 1))、非加圧状態で、各 7 回、計 14 回の書字を行った。加圧の度合いは、被験者が「ややきつい」と感じる程度とした。書字対象は「聖徳太子」とした。書字姿勢は座位とし、感圧センサを把持部に貼り付けた 10mm 径のボールペンを用いて(図 2)、書字行為を 20 分間継続させた。1 日に 2 回以上の実験を行う際は、その前の実験による疲労が残っていない事を確認した。



図 1 加圧箇所

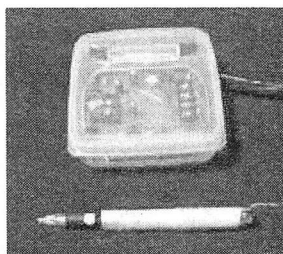


図 2 感圧センサ

2.3. 測定

(1)筋電図

書字行為中の筋活動電位は、直径 15mm の皿状円盤電極を用い、皮膚表面双極誘導法により、筋活動電位を誘導、サンプリング周波数を 1000Hz として記録した。電極間距離は 15mm とした。

(2)被検筋

上腕から、上腕 2 頭筋長頭(BBM)、上腕 3 頭筋長頭(TBM)の 1 対を選び、手指から、短母指外転筋(EPBM)、背側骨間筋(IDM)を選び、計 4 筋とした[5]。

2.4. 解析

(1)データ分割

解析の前処理として、時系列データを分割した。20 分間の時系列データ(1200000 点)を、測定開始から 1 分~2 分間を序盤、9 分 30 秒~10 分 30 秒間を中盤、18 分~19 分間を終盤とした。序盤、中盤、終盤から、それぞれ 3 区間のデータを抽出し、解析を行った。書字対象である、「聖徳太子」の書字に要する時間が 6 秒~8 秒間であった為、8.192 秒間(8192 点)を 1 区間とした。

(2)自覚疲労度

自覚疲労度は、Borg 指数より 0~10 段階として設定し、測定開始から 5 分毎に自覚疲労度の確認を行った。

(3)FFT 解析

筋電信号は、周波数が近接した複数の信号であると考えられる為、抽出したデータに対し窓関数としてハミング窓を用い、FFT によるパワースペクトル推定を行った。FFT により得られたパワースペクトルから、中心周波数を算出し、時間の経過に伴う値の変化を捉えた。

(4)筋電図面積と把持圧の平均値の比率

筋活動電位より導出した筋電図面積と、感圧センサより記録した把持圧の平均値とで比率を求め、時間の経過に伴う比率の変化を捉えた。比率は以下の通り定義した。

$$\text{比率} = \frac{\text{筋電図面積}}{\text{把持圧の平均値}} (\%)$$

3. 結果

(1)自覚疲労度

図 3 に自覚疲労度の平均値の変化を示す。横軸は計測時間、縦軸は Borg 指数である。自覚疲労度の変化は、非加圧状態では序盤から終盤にかけて直線的に上昇し、加圧状態では、序盤から高い数値を維持する傾向を示していた。

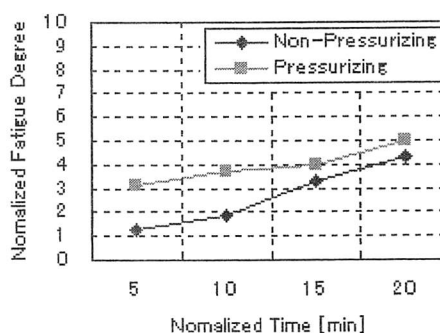


図 3 自覚疲労度

(2)FFT 解析

図 4 に中心周波数の平均値の変化を示す。■は加圧状態、◆は非加圧状態を表し、横軸は計測時間、縦軸は中心周波数の平均値である。加圧状態、非加圧状態、共に序盤から終盤にかけて中心周波数の平均値が減少する傾向を示していた。序盤から終盤間において、有意な減少を示した被検筋は、加圧状態、非加圧状態、共に上腕 3 頭筋長頭(TBM) ($p < 0.01$)、短母指外転筋

(EPBM) ($p < 0.01$)の計2筋であった。

また、加圧状態、非加圧状態を比較するに、加圧状態の方が総じて中心周波数の平均値が高くなる傾向を示していた。有意差を示した被検筋は、序盤において、上腕2頭筋長頭(BBM) ($p < 0.01$)、上腕3頭筋長頭(TBM) ($p < 0.01$)、短母指外転筋(EPBM) ($p < 0.05$)の計3筋、中盤においては短母指外転筋(EPBM) ($p < 0.05$)の1筋、終盤においては、いずれの被検筋にも有意差は示されなかった。

(3)筋電図面積と把持圧の平均値の比率

図5に筋電図面積と把持圧の平均値の比率の変化を示す。■は加圧状態、◆は非加圧状態を表し、横軸は計測時間、縦軸は筋電図面積と把持圧の平均値の比率

である。加圧状態、非加圧状態、共に序盤から終盤にかけて比率が上昇する傾向を示していた。序盤から終盤間において、全ての被検筋が有意の上昇を示していた($p < 0.01$)。

また、加圧状態、非加圧状態を比較するに、序盤、中盤において、加圧状態の方が総じて比率が低かった。さらに、終盤において、上腕2頭筋長頭(BBM)、上腕3頭筋長頭(TBM)は加圧状態の方が比率が低く、短母指外転筋(EPBM)、背側骨間筋(IDM)は非加圧状態の方が比率が低くなる傾向を示していた。有意差を示した被検筋は、序盤において、上腕2頭筋長頭(BBM) ($p < 0.05$)の1筋、中盤においては上腕3頭筋長頭(TBM) ($p < 0.01$)、短母指外転筋(EPBM) ($p < 0.05$)の計2筋、終

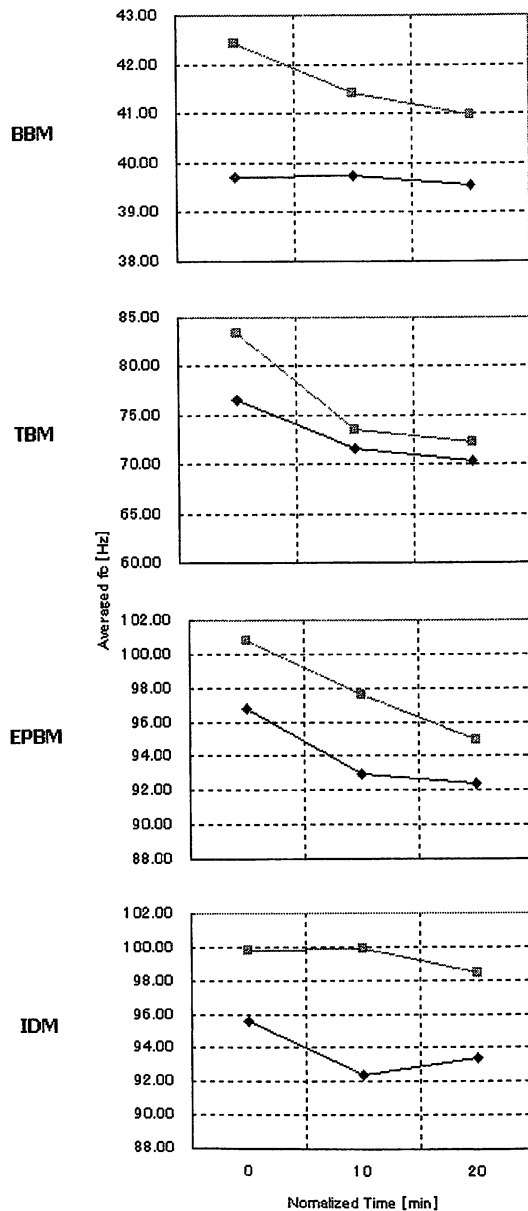


図4 中心周波数

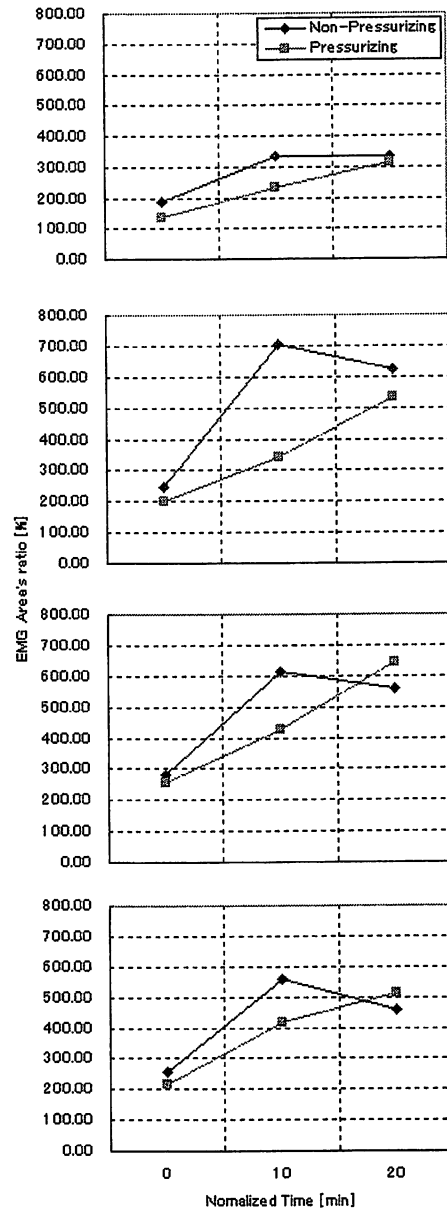


図5 筋電図面積と把持圧の平均値の比

盤においては、いずれの被検筋にも有意差は示されなかった。

4. 考察

(1) 自覚疲労度

加圧状態に於ける書字行為の後に、被験者は、「腕が締め付けられると、不安感に捉われる。」と、述べていた。この事から、加圧状態に於いて、序盤から終盤にかけて自覚疲労度が高い数値を維持している要因としては、腕の圧迫感が被験者に違和感を生じさせ、序盤から疲労しているかの様な錯覚を覚えた為、時間の経過に伴う疲労感が感じられ難くなっているのではないかと推測される。個人によって感覚が異なる可能性はある。

(2) FFT 解析

加圧状態、非加圧状態、どちらの場合においても、上腕3頭筋長頭(TBM)、短母指外転筋(EPBM)の2筋に関しては、疲労に伴い周波数成分が低周波数側へとシフトし、中心周波数が有意な減少傾向を示す事が確認された($p < 0.01$)。加圧状態、非加圧状態を比較するに、加圧状態の方が中心周波数の減少幅が大きく、疲労がより顕著に表れている。この事から、低負荷運動時の筋疲労実験において、被験者を加圧状態下に置く事が、疲労の検出に有効で有る可能性が示唆される。

(3) 筋電図面積と把持圧の平均値の比率

加圧状態、非加圧状態、共に、序盤から終盤間において、全ての被検筋が有意の上昇を示していた($p < 0.01$)。加圧状態、非加圧状態を比較するに、加圧状態は比率が直線的に上昇しているのに対し、非加圧状態では中盤を経過した時点より減少する傾向を示した。非加圧状態においては低負荷運動で有る為、書字行為に対する腕の慣れが原因として考えられる。この事から、低負荷運動を長時間継続する筋疲労実験において、被験者を加圧状態下に置く事が、疲労の検出に有効で有る可能性が示唆される。

(4) 中心周波数及び筋電図面積の変化

FFT 解析結果において、加圧状態と非加圧状態を比較するに、加圧状態の方が序盤の中心周波数が高い数値を示すものの、時間の経過に伴い、中心周波数は急速に減少し、非加圧状態の示す数値へと近付いていき、終盤には加圧状態と非加圧状態の間に有意差は示されなくなった。また、筋電図面積と把持圧の平均値の比率において、加圧状態の方が序盤、中盤の比率が低い数値を示すものの、中盤から終盤にかけて比率は急速に高まり、終盤には加圧状態と非加圧状態の間に有意

差は示されなくなった。

序盤の差異の理由としては、加圧状態では速筋線維の働いている割合が非加圧状態よりも高い、若しくは加圧状態の方が筋線維伝導速度が速くなっている為と考えられる。これは、加圧により腕の付け根を圧力で締める事で、血流が制限され、動脈から新しい血液が流れ込んでいく一方、静脈からの血液が戻り難くなる事から、腕の血液量は多くなり、普段は使用されない毛細血管にまで血液が流れるようになることと関係があると考えているが、今後詳細に検討する必要がある。また、終盤に差異がなくなる理由としては、加圧状態においては、非加圧状態よりも乳酸の蓄積量は時間の経過に伴いより多くなり、伝導速度の低下および遅筋線維の割合がより増えるためと考えられる。その結果、中心周波数は減少し、さらに筋電図面積は高い比率を示す事となり、非加圧状態の示す数値へと近付いていくのではないかと推察している。

5. おわりに

低負荷運動時の筋疲労実験において、被験者を加圧状態下に置く事が、疲労の検出に有効で有る可能性が示唆された。また、加圧状態の方が非加圧状態よりも序盤において中心周波数が平均的に高いという結果が得られた。本稿では、長時間の加圧状態下に置く事の安全性が不明で有る為、実験への参加に同意を得られたのは1名のみであった。今後は安全性の面を検討し、被験者数をより多く確保した上で加圧状態における中心周波数及び筋電図面積の変化について実験を行っていく予定である。

文 献

- [1] 木塚朝博, 増田正, 木竜徹, 佐渡山亜兵, “多点表面電極と筋線維伝導速度,” 表面筋電図, バイオメカニズム学会, pp.62-63, 東京電機大学出版局, 東京都, 2006.
- [2] 木塚朝博, 増田正, 木竜徹, 佐渡山亜兵, “パワースペクトル,” 表面筋電図, バイオメカニズム学会, pp.50-56, 東京電機大学出版局, 東京都, 2006.
- [3] 吉田英恵, 氏家英樹, 石村康生, 和田充雄, “表面筋電図のカオス解析手法による筋疲労の評価,” バイオメカニズム学会誌, vol.28, no.4, pp.201-202, November.2004.
- [4] 周起煥, 李圭, 南谷晴之, 大西祥平, 山崎元, “連続ダイナミック動作時の筋疲労の解析-動作筋電図の中間周波数と血中乳酸濃度の特性-,” 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J74-D2, no.8, pp.1098-1107, August.1991.
- [5] 原島広至, 肉単(ニクタン)~語源から覚える解剖学英単語集~, 河合良訓, 株式会社エヌ・ティー・エス, 東京都, 2004.