

## 審査の結果の要旨

氏名 スー ユーガン

スー ユーガン提出の本論文は「Quantitative Estimation of Muscle Fatigue in Handgrip Tasks using Surface Electromyography (表面筋電位センサを用いた把持作業時の筋疲労の定量的評価)」と題し、全8章より構成される。

この論文は、表面筋電位センサを用いることで、把持作業を遂行している人間の筋疲労の定量的な評価法を扱っている。当該センサは、人間の作業遂行を損なわないこと、非浸襲であることの二つの観点から採用している。ウェーブレット変換を用いた信号処理と指数関数による疲労量モデリングにより、人間の筋疲労量を計測することが可能である。個々人の差異の考慮については事前のキャリブレーションにより対処している。ある一定力で把持し続ける静的作業と、力付与・解放を周期的に行う動的作業の二種類について提案手法の評価を行っている。結果として提案手法の妥当性を示すことができている。

第1章において、序論について述べている。研究の背景において、筋肉疲労と筋骨格障害について述べた後に把持作業について議論をしている。そして筋骨格障害のリスクを軽減する方策について述べている。次に従来研究において、人間の筋肉とその制御系、筋疲労の様々な推定方法と相互比較、表面筋電位センサを用いた研究について述べている。次に研究の目的をについて述べている。その後、提案アルゴリズムの概要について議論し、全体の計測手順について記している。最後に本研究のコントリビューションと論文の概要について述べている。

第2章では、様々な定義と問題設定について述べている。最初に、疲労、最大随意収縮、筋収縮の種類、把持作業について説明と定義を行っている。次に、把持作業を行う上での実験装置について述べている。そして、表面筋電位センサを用いた把持力、筋疲労量、筋回復量の推定方法について議論している。最大随意収縮の差として疲労量を検知することについて議論している。

第3章において、筋作業時の発生力の推定方法について述べている。最初に被験者情報等の実験条件、実験の手続きについて記している。次に提案するアプローチについて述べている。本論文で用いる連続ウェーブレット変換について概要を述べ、それを用いた把持力推定アルゴリズムの詳細を述べている。基礎実験により、どのウェーブレットスケールがここでの問題に適しているかを検証し、それを用いて提案手法を評価している。結果として提案アルゴリズムはさまざまな被験者、さまざまな発生力に対して適切であることが示された。

第4章では、把持力一定である場合の筋疲労の推定法について述べている。ここでは疲労量を最大発生力の差という形式で表現する。3章と同様に実験方法、手続きについて述べ、提案手法の説明を行っている。何種類かの数理モデルを提案し、どのモデルが最も適切に

疲労量を推定できているかを比較検討している。結果として有意差は存在しないものの適切な数理モデルを選定することができた。

第 5 章では、疲労量と回復量の関係について議論している。3, 4 章と同様に実験条件について説明を行い、ある一定期間作業を行い終了した後に時間の経過とともにどのように回復しているかについて検証している。結果として、どのようなキャリブレーションを行うとモデルのパラメータフィッティングが円滑に進むかについて議論しており、発生力がより大きい場合にキャリブレーションすることが誤差を少なくするという観点からは有用であることが示された。

第 6 章では、一定力の発生と解放を繰り返す周期作業における疲労量の推定方策について述べている。当該問題設定においては、4 章で述べた疲労項と 5 章で述べた疲労回復項を組み入れる必要がある。ここでは、作業遂行時には疲労も発生するが同時に回復もしているというモデルとなっている。実験の結果、時間と共に提案手法と回復を考慮していない手法との差が顕著になり、提案手法の有効性を示すことができた。最後に実時間計測への適用可能性について述べている。

第 7 章において、提案アルゴリズムについて議論を行っている。全体の議論、本研究のコントリビューション、他の領域への展開可能性について述べている。

第 8 章において、結論と今後の展望について述べている。提案手法は仕事を妨げることもなく低い浸襲度ではあるが、疲労量を定量的に評価することに成功している。当初の目標として 10%の精度を目指したが、結果としてそれを満たすことができた。今後の展望としては、現在想定している発生力の上限下限をより広げることが考えられる。

以上を要するに、本論文では、表面筋電位センサを用いて把持作業を行っている人間の疲労の定量化を行った非常に先駆的な研究であり、個々人の多様性に対してもきちんと対応できる構成となっている。このような意味から、ここで得られた結果は重要なものであると言える。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。