

## 学位論文の要旨

専攻名	システム工学 専攻	ふりがな 氏名	やまかわ たくみ 山川 拓巳	㊟
学位論文題目 生体情報を用いた着座筋疲労評価に基づく長時間運転における腰部支持装置の疲労低減効果に関する研究 (A Study on Fatigue Mitigation Effect of Lumbar Support System during Long Time Driving Based on Seating Muscle Fatigue Evaluation using Biological Information)				
<p>近年、自動車は安全性や環境性だけでなく運転における快適性の向上も求められている。快適性向上における課題の一つとして、長時間運転で発生するドライバの運転疲労を低減することがあげられる。一般に運転疲労は精神疲労と肉体疲労に大きく分類され、肉体疲労の要因の一つである筋疲労は、疲労の症状と発生部位が比較的明確で特定しやすい。そのため、従来からドライバの筋疲労に対し、筋電図、生体インピーダンス、指尖容積脈波などの生体情報を用いた各種研究が行われている。これらの研究において筋疲労を低減するため各種手法を提案しているが、それらでは筋疲労低減に不十分と考えた。そこで、著者は筋疲労低減手法としてドライバ上半身に明確な姿勢変化を与えることに着目し研究を進めてきた。先行研究では腰部支持装置を運転中に定期的に動作させ、ドライバに姿勢変化を与えることで、筋疲労低減が実現できることを生体情報である指尖容積脈波と主観評価を用いて示したが、生体情報を用いた評価指標が単一であることや筋疲労低減手法である姿勢変化に対する筋疲労低減の要因についての議論が十分ではなかった。</p> <p>そこで、本研究では長時間運転時のドライバの筋疲労に焦点をあて、複数の評価法を用いて筋疲労を評価することで評価結果の信頼性を向上させるため、新たな着座筋疲労評価指標である血中乳酸値と筋血流内の酸素動態を用いた筋疲労評価手法を提案する。それらに基づき、腰部支持装置を用いた姿勢変化前後における姿勢形状と生体情報である筋活動変化を計測し、長時間運転時の筋疲労評価結果との関係を考察することで、姿勢変化と筋疲労の関係を明らかにし、筋疲労低減効果を得ることができる腰部支持位置を導出することを目的とする。</p> <p>まず、長時間運転時の筋疲労評価として、これまでの指尖容積脈波を用いた筋疲労評価とは異なる血中乳酸値を客観的疲労評価の指標として使用することを提案した。乳酸は激しい運動を行う際に身体で活動する筋肉内で生産され、肉体の全身筋疲労を間接的に推定できる指標である。主に運動生理学分野など強い運動を対象とした筋疲労評価指標として使用され、指尖容積脈波とは異なり明確な物理量を評価指標として取り扱うことが可能であることに本研究では着目した。本研究において長時間運転中の着座という、弱い筋力で長時間姿勢を維持する有酸素運動を対象とした筋疲労の評価にも、血中乳酸値を客観的疲労評価の指標として用いることを検討する。長時間運転を行った後に計測する血中乳酸値を用いて評価すると、測定結果の分散が大きくなる問題がある。そこで、長時間運転前と運転後に血中乳酸値の計測を行い、その差分を長時間運転における血中乳酸値増加量とし、それを筋疲労の大きさとして評価することとした。ドライビングシミュレータを用いての長時間運転実験の結果から、5名全ての実験参加者において運転実験後の血中乳酸値の増加が確認できた。また、提案する血中乳酸値増加量に基づく筋疲労評価手法において腰部支持装置動作の有無により有意差が確認できた。これにより、提案した血中乳酸値増加量に基づく評価手法が長時間運転時のドライバの筋疲労の定量的評価手法として有効であることが検証できた。</p>				

ふりがな 氏名	やまかわ たくみ 山川 拓巳	㊟
------------	-------------------	---

次に、背面支持位置を変化させた際のドライバの姿勢変化と背面筋の筋活動を計測し、筋疲労低減に最も有効な腰部支持位置を明らかにすることを目的として研究を行った。ドライバの腰部支持位置を変化させた場合、その姿勢変化と背面筋の筋活動には差が生じていると考えられ、各支持位置における姿勢変化と筋活動の変化を計測する必要があると考えた。腰部支持装置を用いた姿勢変化は実験参加者の身体側面にマーカを貼り付け計測した。着座姿勢変化時の筋活動は、姿勢計測と同時に行い短時間計測とした。通常の筋活動計測評価では実験間の比較が困難と考え、姿勢変化前後の筋活動量（以下、iEMG とする）の変化率で評価した。実験の結果、2 名の実験参加者においてドライバ背面の支持位置を 5 つの高さで変化させた場合、第 3 腰椎付近を支持した際に姿勢変化量が最大となり、姿勢維持で使用する筋群において iEMG の変化率が最大となることがわかった。また、長時間運転実験において本支持位置で定期的に腰部支持を行った場合に筋疲労が最も低減し、有意差も確認できた。

最後に、姿勢変化による筋活動変化時の筋血流変化に着目し、明確な物理量である腰部筋内の酸素動態を計測し、対象とする筋の疲労を明らかにする手法を提案した。この酸素動態の計測には近赤外分光法を用いた。本計測は筋電図と同様に対象とする筋内の変化が計測可能である。血中乳酸値では対象が全身筋疲労であるため各筋の疲労評価が行えなかったが、本手法であれば各筋の疲労が評価できると考えた。長時間運転を行った後に計測する酸素飽和度を用いて評価すると、血中乳酸値と同様に測定結果の分散が大きくなる問題がある。そこで、長時間運転前と運転後の酸素飽和度の差分を長時間運転における酸素飽和度増加量とし、それを筋疲労の大きさとして評価することとした。また、腰部支持装置を用いた姿勢変化時の筋活動量変化は微小ではあるが筋肉の収縮と弛緩を捉えられていると考えられ、筋肉内の総ヘモグロビン量の変化を計測することで、歩行時などで生じる筋ポンプ作用が定量的に観測できるとも考えた。1 名の実験参加者でドライビングシミュレータを用いての長時間運転実験を行った。結果、腰部支持装置で姿勢変化を与えるごとに酸素飽和度の増加傾向が確認でき、姿勢変化無しのパターンに対し姿勢変化を与えたパターンで、運転後の筋血流内の酸素飽和度と総ヘモグロビン量の増加が確認できた。これにより、提案した筋血流内の酸素動態に基づく評価手法が長時間運転時のドライバの筋疲労の定量的評価手法として有効であることが検証できた。このことから、姿勢変化を与えると腰部筋肉内の酸素飽和度が増加し、血流内で生産される乳酸の分解速度が上昇する。結果として、腰部支持無しの場合に比べ、腰部支持を定期的に与えた場合の血中乳酸値増加量が減少したと考えられる。また、姿勢変化を与えた場合に生じた筋血流内の総ヘモグロビン量の増加から、筋肉のポンプ作用による静脈還流の改善が生じていると考えられる。

以上のことから、既に有効性が示されていた指尖容積脈波だけではなく、これまでは強い運動である無酸素運動を対象とした疲労評価で使用されていた血中乳酸値と酸素飽和度と筋電図を用いて、着座のような有酸素運動と考えられる弱い筋力で長時間姿勢を維持する筋負荷においても、定期的に腰部支持装置でドライバに姿勢変化を与えた際の長時間運転時の筋疲労評価の有効性が確認でき、目的としていた評価結果の信頼性を向上させることができたと考えられる。また、それらを活用して筋疲労低減に有効なドライバ腰部支持位置が第 3 腰椎付近として導出でき、新たなシート装備開発に活用できる見込みを立てられた。