

## 学位論文及び審査結果の要旨

横浜国立大学

氏名	伊藤 悠史
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	環情博乙第461号
学位授与年月日	令和3年3月25日
学位授与の根拠	学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号)第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第2項
研究科(学府)・専攻名	環境情報学府 人工環境専攻
学位論文題目	心拍変動周波数解析に基づく消防活動中の心肺負荷評価に関する研究 Studies on estimation of cardiorespiratory load based on heart rate variability analysis during firefighting activity
論文審査委員	主査 横浜国立大学 教授 岡 泰資 横浜国立大学 教授 大谷 英雄 横浜国立大学 教授 三宅 淳己 横浜国立大学 客員 中井 里史 横浜国立大学 客員教授 栗山 幸久 東京大学 特任准教授 福崎 千穂

## 論文及び審査結果の要旨

消防活動は、延焼防止、人命検索、避難誘導など重要な役割を担うが、隊員の身体へ大きな負担をかけている。危険と隣り合わせの火災現場で課される過大な身体的負担の継続は、隊員の体調不良、注意力低下に繋がり、ヒューマンエラーおよびそれに伴う公務災害の発生要因となることが懸念される。そこで本研究では、消防隊員が培ってきた経験に基づく主観的情報に、心拍変動の周波数解析に基づく客観的な身体負荷に関する情報を加えることで、効率的な休憩あるいは交代を促し、疲労蓄積による判断力低下を軽減し、公務災害の未然防止、および安定した消防活動の継続に資する判断手法の提案とその評価を目的としている。

本論文は6章で構成されている。

第1章では、本研究の背景および目的と本論文の構成を記載している。

第2章では、低強度の身体負荷活動における生理・生体情報に注目する試験、高強度の身体負荷により活動継続不能に至る際の生理・生体情報に注目する試験、および消防活動中の心肺負荷評価手法の実活動への適用可否を判断するための連続活動負荷試験と、各身体負荷試験の実施方法と生理・生体計測手法に関する事項が記載されている。

第3章では、一定負荷試験、多段階負荷試験および模擬消防活動試験の3種類の負荷試験結果をもとに、全身の酸素供給および二酸化炭素排出などに重要な血流を司る心臓に着目し、安静時からの心拍数上昇値( $\Delta HR$ )が、身体負荷強度の変化に敏感に追従するとともに個人差を低減できることから、消防隊員の身体負荷状況を評価する指標として活用できることを示している。さらに、心拍変動の周波数解析を実施し、得られる周波数スペクトル波形が、高強度の身体負荷が課せられた状態において特徴的な変化を示すことを明らかにしている。

第4章では、間欠式三段階漸増負荷試験、間欠式多段階漸増負荷試験、連続式漸増負荷試験および模擬消防活動試験の4種類の負荷試験結果をもとに、身体活動に伴うエネルギー代謝に必要な酸素摂取および二酸化炭素排出を行う呼吸に関する指標を検討している。3章に示したように、高強

度の身体負荷時には、呼吸数の影響が、既往の心拍変動研究で報告されている周波数帯よりも高周波数帯に現れること、心拍変動の周波数スペクトル波形が特徴的な形状に変化をすることを踏まえ、心拍変動周波数解析から得られる呼吸に係わる情報の数値化のために、心肺負荷状態評価指標 (*RIR*) を提案している。さらに、この新規提案指標の数値変動を時間的に追跡することで、高負荷活動継続に伴う好気性代謝から嫌気性代謝が主となる呼吸状態への移行時間が判定できること、生理情報である血中乳酸値および経皮的動脈血酸素飽和度( $SpO_2$ )の変動を捉えられることなど、基礎的で有益な結果を明らかにしている。

第5章では、3章および4章で検討した2つの指標 ( $\Delta HR$  と *RIR*) を基に、消防活動中に、好気性代謝から嫌気性代謝へと遷移した時点や「活動継続注意」、嫌気性代謝が卓越した状態がある時間以上継続した時点や「活動継続中止」に位置づけ、心肺機能への負荷に注目した消防隊員の労働安全向上を目指した判定手法を提案している。なお、各段階における閾値は、間欠式多段階漸増負荷試験、連続式漸増負荷試験結果をもとに決定されている。さらに、消防隊員にとって最も活動負荷の大きな中層建屋での消防活動を模擬した26分間の模擬消防活動試験にこの手法を適用し、試験直後の血中乳酸値の変化との比較から、提案した判定手法の妥当性が検証されている。

第6章では、本論文を総括し、本研究で明らかになった事項を要約している。

以上のように、本論文では、高負荷活動の一つである消防活動を対象とし、活動中の隊員から非侵襲的に取得できる心電情報に着目し、心拍変動周波数解析により算出できる  $\Delta HR$  と *RIR* の2変数の数値変動を時間的に追跡することで、高負荷活動継続に伴う好気性代謝から嫌気性代謝が主となる呼吸状態へ移行が判定できること、生理情報である血中乳酸値および経皮的動脈血酸素飽和度 ( $SpO_2$ )の変動を生体情報から捉えられることが示されている。このように、従来では高負荷活動従事者の経験に基づく主観的判断にのみ依存してきた身体状態把握に、客観的情報を付加することで身体状態の見える化に成功し、高い使命感による独特の興奮状態にある隊員に活動継続可否に関する適切な判断を促すことは、労働安全の向上に極めて意味深いものである。

従って、本論文は工学的に貢献するところが大きいことから、学位(工学)論文として十分な価値があるものと認める。