

小型船舶乗船者の疲労メカニズムの解明

Elucidation of the Fatigue Mechanism of Passengers and Crew on a Craft

○土井根礼音 (東京電機大学), 坂牧孝規 (鳥羽商船高専), 瀬田広明 (鳥羽商船高専)

伊藤政光 (鳥羽商船高専), 福井裕輝 (国立精神・神経医療研究センター)

河村剛史 (河村循環器病クリニック), 本間章彦 (東京電機大学), 福井康裕 (東京電機大学)

Renon DOINE, Tokyo Denki University
Takanori SAKAMAKI, Toba National College of Maritime Technology
Hiroaki SETA, Toba National College of Maritime Technology
Masamitsu ITO, Toba National College of Maritime Technology
Hiroki FUKUI, National Center of Neurology and Psychiatry
Tsuyoshi KAWAMURA, Kawamura Cardiovascular Clinic
Akihiko HOMMA, Tokyo Denki University
Yasuhiro FUKUI, Tokyo Denki University

Abstract: Many passengers and crew experience physical fatigue on craft. The objective of this research is to elucidate the fatigue mechanism of passengers and crew on craft. In this paper, we describe our analyses of the motions of human body, the changes in metabolic energy expenditure and heart rate caused by posture control against the motions of a craft. Motions are measured by an orientation sensor which placed on the human head, on the human waist, and on the floor of the craft. The intensity of motions are calculated by RMS (Root Mean Square) value. On cruising craft, the standing posture's metabolic energy expenditure is higher than the seating posture's. Metabolic energy expenditure changes according to the intensity of the motions of a craft. The human body unconsciously reacts to the motions of a craft. Therefore we believe that this is a major cause for the physical fatigue on a craft.

Key Words: Craft, Physical Fatigue, Orientation Sensor, Metabolic Energy Expenditure, Posture Control

1. はじめに

小型の船舶に乗船すると、ほとんどの人たちは疲労を感じ、船舶が小さくなるほどその傾向は強い。しかし、小型船舶乗船者の疲労メカニズムの解明や、その定量化に関する研究は、ほとんど行われていない¹⁾。

小型船舶では、常時、揺れ・振動が発生しており、乗船者は無意識に姿勢制御を行っているものと考えられる。本研究は、小型船舶の揺れを加速度・角加速度として捉え、乗船者に伝播する揺れおよび、姿勢制御による生体のエネルギー代謝量、心拍数の変化を同時解析することで、乗船者の疲労メカニズムの解明を行うことを目的とする。

2. 方法

2-1 計測システム

計測システムの構成を Fig.1 に示す。計測システムは、エネルギー代謝計、患者モニタ、筋電図計、3 軸方位角センサ、ビデオカメラ、サテライトコンパス、およびコンピュータから構成されている。本研究では、船舶の揺れが生体に伝播する仕組みを解析するため、船舶の床、生体の腰部、頭部に 3 軸方位角センサを設置し、加速度・角加速度を計測した。また、小型船舶環境下での乗船者の運動量を解析するため、エネルギー代謝計を使用し、乗船者のエネルギー代謝量を計測した。船舶環境での心電図や心拍数の変化は、患者モニタを用いて計測した。さらに、乗船者の姿勢制御の動きを解析するために、左右の頸部傍脊筋、左右の腰部傍脊筋、左右の外側広筋、左右のヒラメ筋の筋電図を筋電図計により計測した。船舶の操船状況は、サテライトコンパスにより計測し、被験者の動きはビデオカメラにより記録した。計測インターバルは、3 軸方

位角センサを 0.01 秒、エネルギー代謝計を 10 秒、筋電図計を 0.001 秒とした。

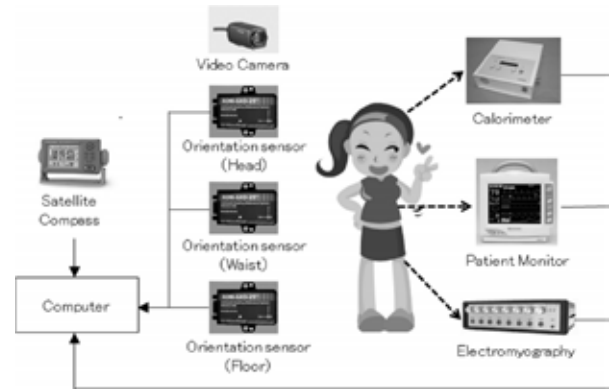


Fig. 1 Schematic of Measuring System

2-2 計測実験

(1) 小型船舶環境

小型船舶環境における計測実験は、鳥羽商船高等専門学校が所有する実習船「あさま」(総トン数 14t, 定員 23 名)を用いて行った。実験の様子を Fig. 2 に示す。航行中の速度は、可能な限り一定とし、急な変針は行わないようにした。被験者の姿勢は、座位 20 分間、立位 15 分間、座位 15 分間、立位 15 分間と連続的に変えて行った。また、生体の関節構造が揺れの伝播方法に与える影響を分析するため、床に垂直に立てた棒(高さ 124cm)に、生体と同位置に 3 軸方位角センサを設置し、比較実験を行った。計測実験は、これまでに被験者 16 名に対して約 59 時間行った。

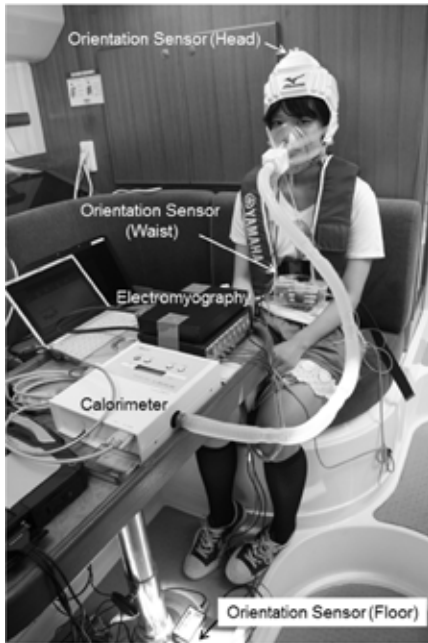


Fig.2 Experimental Environment on a Craft

(2)屋内環境

小型船舶環境での姿勢制御による運動量と陸上での運動量を比較するため、屋内環境において、座位、立位姿勢に加え、踏み台昇降運動を実施する実験を行った。被験者には、座位 15 分間、立位 15 分間、座位 15 分間の姿勢をとらせた後、30 回/分の踏み台昇降 5 分間、座位 15 分間、40 回/分の踏み台昇降 5 分間、座位 15 分間、50 回/分の踏み台昇降 5 分間、座位 15 分間を行わせた。計測実験は、これまでに被験者 14 名に対して約 36 時間行った。

3. 結果

3-1 船舶の揺れと乗船者の運動量

加速度および角加速度の周波数解析を行った結果、被験者の腰部、頭部には、低周波の揺れが伝播している様子が観察されたため、加速度および角加速度には、カットオフ周波数 5 Hz のローパスフィルタを適用し、低周波の揺れの抽出を行った。揺れの大きさは、加速度および角加速度波形の強度を表す実効値を式(1)を用いて算出することで評価した。実効値の算出は、加速度・角加速度波形 2048 データごとに行った。

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i)^2} \quad (1)$$

被験者(49 歳、男性)の頭部および船舶の床の実効値の時系列波形を Fig. 3 に、小型船舶環境下での心拍数とエネルギー代謝量を Fig. 4 に、陸上の屋内環境における心拍数とエネルギー代謝量を Fig. 5 に示す。図中①は座位姿勢、②は立位姿勢、③は 30 回/分の踏み台昇降、④は 40 回/分の踏み台昇降、⑤は 50 回/分の踏み台昇降のデータを表している。Fig. 3 および Fig. 4 より、生体の心拍数およびエネルギー代謝量は、船舶の床の揺れに応じて増減の様子が観察された。また、立位姿勢時には、心拍数およびエネルギー代謝量が座位姿勢に比べて共に増加する傾向にあり、この時の外側広筋、ヒラメ筋の筋電図波形には、被験者の姿勢制御と思われる動きが観察された。

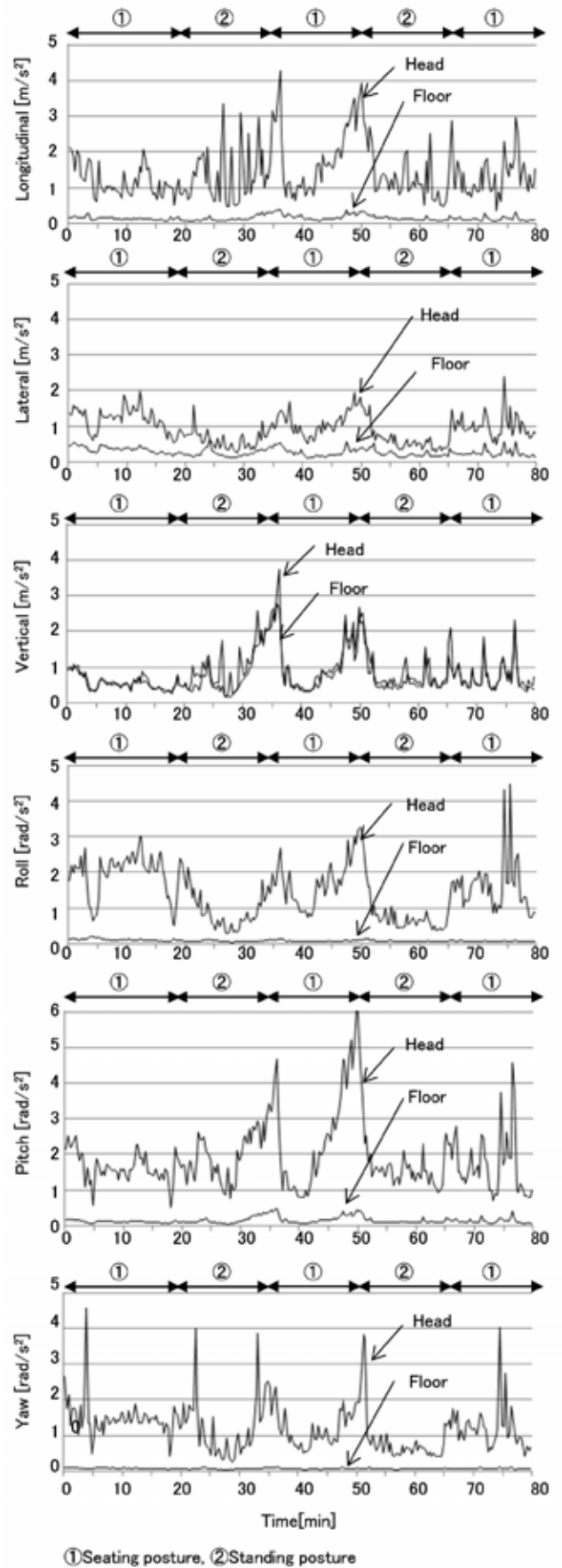


Fig.3 Acceleration and Angular Acceleration (RMS)

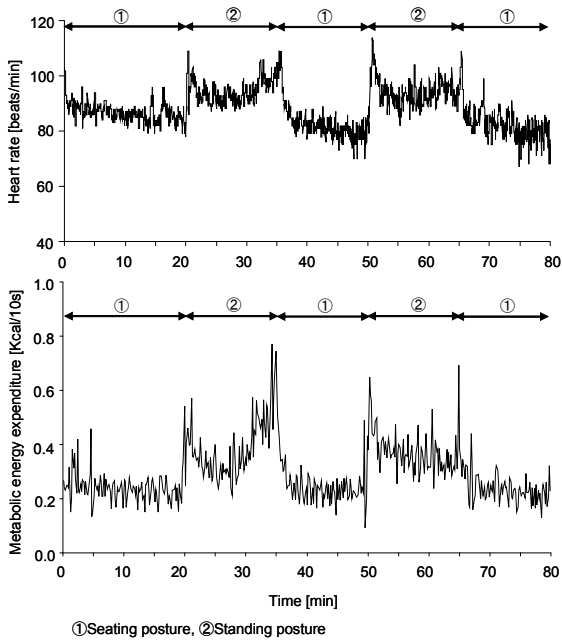


Fig. 4 Metabolic Energy Expenditure on a Craft

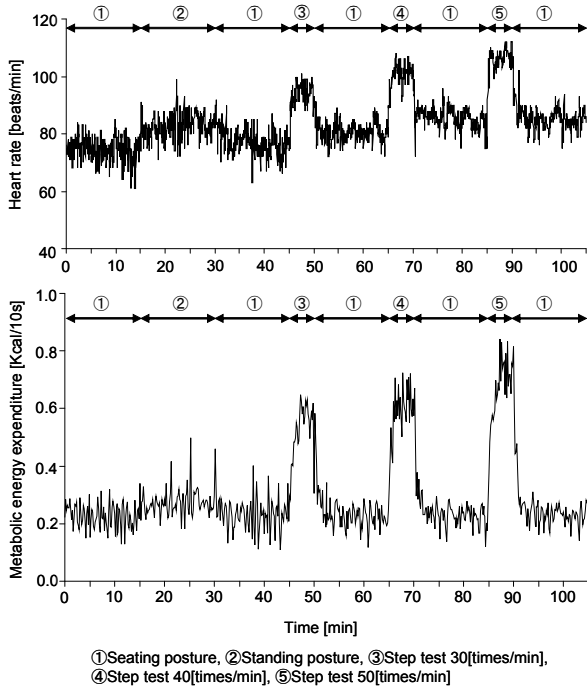


Fig. 5 Metabolic Energy Expenditure on Land

また Fig. 5 より、立位姿勢時の心拍数およびエネルギー代謝量は、陸上の屋内環境で踏み台昇降運動を行った際の心拍数およびエネルギー代謝量に匹敵することが観察された。

3-2 乗船者に伝播する揺れの解析

船舶の床の揺れが乗船者に伝播する仕組みを分析するために、生体と関節構造をもたない棒に伝播する揺れの実効値の比較を行った。実効値の比較は、船舶の床、腰部、頭部における低周波の加速度・角加速度波形 2048 データ (20.48 秒) ごとに算出した実効値 20 データ (約 7 分間) の平均値と分散を算出することにより行った。小型船舶環境における立位姿勢時の被験者 (49 歳, 男性) の実効値を Fig. 6 に、棒の実効値を Fig. 7 に示す。

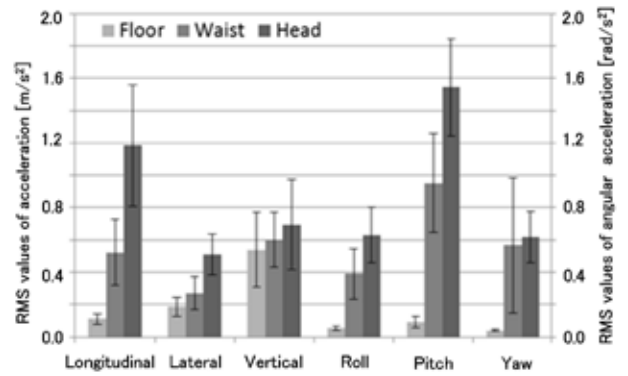


Fig.6 Acceleration and Angular Acceleration of a Human (RMS)

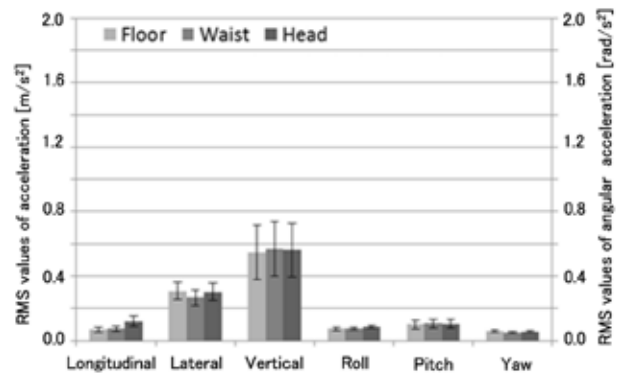


Fig. 7 Acceleration and Angular Acceleration of a Stick (RMS)

Fig. 6 および Fig. 7 より、被験者の腰部や頭部には、船舶の床とは異なる揺れが発生している様子が観察された。一方、棒の腰部、頭部には、生体と同様の傾向はみられなかった。

4. 考察

小型船舶環境における立位姿勢時の生体の腰部や頭部に、棒にはない船舶の床とは異なる揺れが発生していたのは、立位姿勢時の生体の外側広筋、ヒラメ筋の筋電図に姿勢制御の動きが観察されたことから推察すると、生体が船舶の揺れに対して行う姿勢制御の動きが原因と考えられる。これにより、船舶の床の揺れに応じて立位姿勢時の生体のエネルギー代謝量、心拍数が上昇したのは、生体が姿勢制御を行い、これが陸上での踏み台昇降運動に匹敵する運動量であったことが原因と考えられる。

5. まとめ

乗船者に伝播する揺れの実効値および、心拍数、エネルギー代謝量、筋電図の同時解析の結果、小型船舶環境における立位姿勢時の乗船者の運動量は、乗船者が船舶の床に応じて行う姿勢制御を原因とし、屋内環境での踏み台昇降運動に相当することがわかった。これにより、小型船舶の乗船者の疲労は、乗船者の船舶の揺れに対する姿勢制御の動きが 1 つの要因になっているものと推察される。

参考文献

1) 坂牧孝規, 土井根礼音, 瀬田広明, 伊藤政光, 福井裕輝, 河村剛史, 福井康裕, 小型船舶における乗船者の疲労原因の解析に関する研究, 生体医工学, 50, 特別号, 208, 同 CD-ROM 版プログラム論文集 03-06-6, 2012.