

スキー実滑走時機械力学情報と生理生体情報の同時並列計測 —特にスキー実装時の自律神経系動態評価へのアプローチ—

高橋 直也[†] 木本 理可^{††} 今村 啓^{†††} 塩野谷 明[†]

[†]長岡技術科学大学 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1

^{††}旭川工業高等専門学校 〒071-8142 北海道旭川市春光台 2-2-1-6

^{†††}R.S.S 〒949-6680 新潟県南魚沼市六日町 1007-2

E-mail: [†]s111059@stn.nagaokaut.ac.jp

あらまし 本研究では、スキー実滑走時の機械力学情報と生理生体情報を同一ユニットで同期並列的に計測可能なシステムを構築し、競技中のスキー板の機械力学振動と ECG 及び脚部 EMG の同時並列計測を行い、体力的要素及び心理的要素、技術的要素について検討するとともに、特に自律神経系動態について着目した。体力的要素については、EMG から算出した各筋肉における MPF の低下から、筋の疲労状態が確認された。また、ECG から算出した心拍数と酸素消費量の関係に基づく AT からレーシング中は無酸素運動状態であることが再確認された。加えて心理的要素として、ECG の R-R 波間隔の周波数解析より算出した HF (High Frequency) からスキー中の自律神経系動態が同定された。

キーワード EMG, ECG, スキーレーシング, 振動周波数

Parallel measurements of mechanical dynamics and physiological signals in skiing —Approach to evaluate the dynamics of autonomic nerve system in skiing—

Naoya TAKAHASHI[†], Rika KIMOTO^{††}, Kei IMAMUR^{†††} and Akira SHIONOYA[†]

[†] Nagaoka University of Technology 1603-1 Kamitomioka-machi, Nagaoka, Niigata, 940-2188 Japan

^{††} National Institute of Technology, Asahikawa College 2-2-1-6 Shunkoudai, Asahikawa, Hokkaido, 071-8142 Japan

^{†††} R.S.S 1007-2 Muika-machi, Minamiuonuma, Niigata, 949-6680 Japan

E-mail: [†]s111059@stn.nagaokaut.ac.jp

Abstract The purposes of this study were to develop a system for parallel measurements of mechanical dynamics and biological signals and to measure the vibration of ski plate in skiing as a mechanical parameter and the EMG, ECG as a physiological parameter in parallel using this system in skiing. The physical, psychological and technical performance of ski racers were studied using these measured data, especially the dynamics of autonomic nerve system in skiing was on focus. On the physical performance of ski racer, a decrease in MPF calculated from the EMG as an index of muscular fatigue was understood in ski racing. Furthermore, the anaerobic condition was understood in ski racing based on the anaerobic threshold (AT) identified from the relationship between heart rate calculated from ECG and VO₂. On the psychological performance of ski racer, the dynamic of autonomic nerve system in ski racing was evaluated by the high frequency and low frequency calculated from the R-R wave interval of the ECG.

Keywords EMG, ECG, Ski racing, Vibration frequency

1. 緒言

スポーツのパフォーマンス向上において、重要とされているのは体力的要素、技術的要素、心理的要素の三つである。これら三つの要素を計測できるシステムの開発は、全てのスポーツにおいて重要であり、本研究対象であるアルペンスキーにおいても同様であると

考えられる。しかし、これらの三つの要素を並列同期的に計測・評価するシステムはこれまでほとんど報告されていない。

本研究では、生理生体情報と機械力学情報を同一のユニットで同期並列的に計測を行うシステムの構築を行い、スキーレース中のスキー板平面に対して鉛直方

向の振動（縦振動）、筋電図（Electromyography-EMG）並びに心電図（Electrocardiogram-ECG）の同時並列計測を行い、得られたデータから体力的要素、技術的要素、心理的要素の評価が可能か検討を行った。

2. 方法

図1に、機械力学情報としてのスキー板振動と生理生体情報としてのEMG、ECGの同期並列システムの概要を示す。スキー板の振動を測定するために、加速度計（PIEZOTRONICS社製352B10型）を左脚側のスキー板に取り付けた。装着個所はスキー板末端から10cmの場所に取り付け、スキーの滑走面に対して鉛直方向の振動（縦振動）を測定した。また、左脚に表面電極を装着し、大腿二頭筋、大腿四頭筋、前脛骨筋、腓腹筋の筋からEMGを導出した。ECGは心臓部を2つの電極で挟むように取り付け、測定を行った。これらの信号は回路を介して同期され、多用途生体アンプ（Polymate AP1132）にビデオカメラ用バッテリーを使用しながらデータロガー（記録装置）機能を持たせることで記録を行った。計測時のサンプリング周波数は2000Hzで行い、Polymateに挿入したPCカード（PCカードアダプタ及びCFカードメモリ）にデータを記録した。PCカードは測定後に回収し、解析用コンピュータにデータを取り込み、多用途生体情報解析プログラムBIMUTAS IIを用いて解析を行った。

スキー実滑走実験は、図2の新潟県Nスキー場で開催されたスキー競技会にて行った。被験者は健康成人男性スキー上級者1名（元SIA指導員）とし、競技会の前走及び後走に参加する形でセッティングされた旗門を3回滑走した。

本実験では機械力学情報と生体情報を同一ユニットで並列同期的に計測可能なシステムを用いて、スキー競技中の上記2つ情報を計測及び解析を行った。心理的要素の評価は、自律神経の活動指標であるLF/HFを評価指標とした。LF(Low Frequency)、HF(High Frequency)はそれぞれECGのR-R波間隔の周波数解析により算出され、LFは交感神経と副交感神経の支配を受けている0.04~0.15Hzの帯域を持つ。HFは副交感神経の支配を受けている0.15~0.4Hzの帯域を持ち、そのパワー比がLF/HFである。MPF(Mean Power Frequency:筋疲労)、LF/HF、心拍数、振動の4つを体力的要素、技術的要素、心理的要素の側面からレーシング中のパフォーマンス評価の検討を目的とした。また、MPFの導出には下記の(1)式を用いて導出した。

$$MPF(n) = \frac{\int_{f1}^{fh} f \cdot w(f,n) df}{\int_{f1}^{fh} w(f,n) df} \dots\dots\dots(1)$$

n:時間、f:周波数、fh:最高周波数、f1:最低周波数

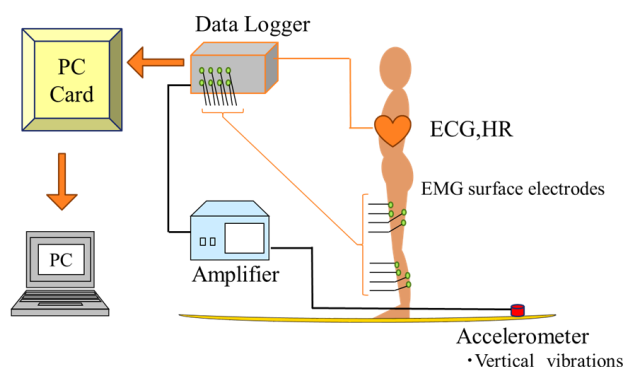


図1 同時計測システムの概要



図2 スキー場

3. 結果及び考察

図3は、スキー競技会における実滑走時のEMGとスキー板の振動、ECGの生データを示している。上から順に大腿四頭筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋、スキー板の縦振動、ECGである。これらに基づき、EMGからMPF、ECGからは心拍数を算出した。図4、5、6、7は縦軸がEMGから算出したMPF、横軸がレース開始から終了までの時間であり、それぞれ大腿四頭筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋の結果である。今回測定した4筋すべてでMPFの低下が確認された。筋疲労に伴いMPFが低下するとの報告があることから、スキーレース中の滑走で筋疲労の発生が示唆されたと考えられる。

表1はレース中の被験者の心拍数を、図8は滑走30秒前からレース終了後1分後までの心拍数変動を示す。表1はレース中の最大心拍数、滑走後の心拍数、滑走前の心拍数を滑走回数毎に記録したものである。被験者の心拍数は滑走中において最大192bpmまで上昇した。また被験者には、本実験とは別に呼吸代謝測定装置を用いた呼吸代謝測定実験を行い、図9の判定基準よりAnaerobic Threshold(AT)を決定するとともに、心拍数-酸素摂取量関係を算出した。表2は、その心拍数-酸素摂取量関係の結果を示したものである。被験者の

心拍数-酸素摂取量関係は $Y=2.60X+43.8$, AT@Vo2 (AT-最大酸素摂取量) は 27.1ml/kg/min, AT@HR (AT-最大心拍数) は 114.3bpm であった. 表 1 の滑走中の心拍数と AT@HR からレース中の心拍数が AT 水準以上であることが確認され, レース中は無酸素運動を行っていることが認められた. このことは生体が代謝性アシドーシス状態であり, それに伴って EMG の MPF 低下が行っていると考えられ, 体力的要素の検証理解が行える可能性が示唆された.

図 10 はスキーレース中の鉛直方向の振動を示している. 先行研究では, カービングターンによる高速滑走時に 200Hz 以上の高次の周波数が確認されると報告されており, 今回の計測においても 200Hz 以上の周波数が再確認された. このことから, 今回のスキー競技会においてもカービングターンを用いて滑走を行っていたと推測でき, 振動から競技者の滑走技術評価を行える可能性が示唆された.

図 11 は被験者の滑走前 LF/HF, 滑走中の LF/HF, 滑走終了時の LF/HF, 滑走終了 3 分後を示している. 高田らは LF/HF は非常に安静な状態では 2.0 未満, 日常の安静時では 2~3, 交感神経活動の興奮状態では 4.0 以上の値が目安¹と報告している. 今回の計測では各滑走全てにおいて滑走前は 3.0 以上, 滑走中では 4.0 以上であった. これらから, 滑走前は緊張状態にあり, 滑走中は交感神経が優位となり被験者が興奮状態であると推測でき, LF/HF からレース中の自律神経状態が同定され, 心理状態を評価できる可能性が示唆された.

このように本システムを用いた計測は, レーシング中の体力的要素と技術的要素並びに心理的要素の検証と理解が可能となり, スキーレーシング・パフォーマンスの向上に有効であることが示唆された.

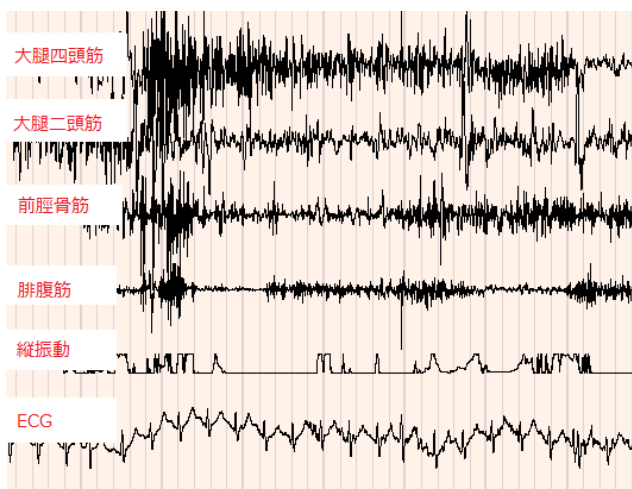


図 3 同時計測の生データ

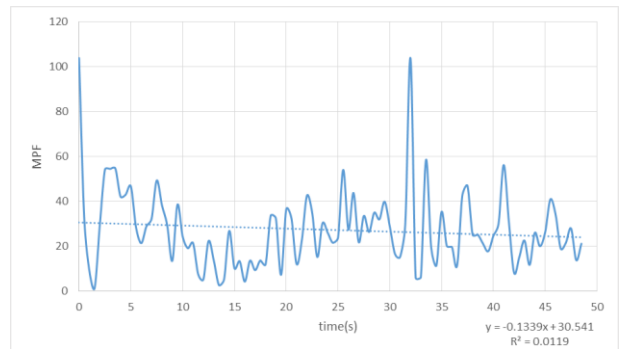


図 4 大腿四頭筋の MPF 低下

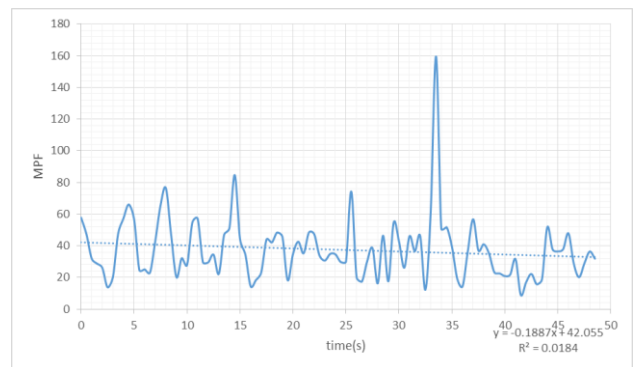


図 5 大腿二頭筋の MPF 低下

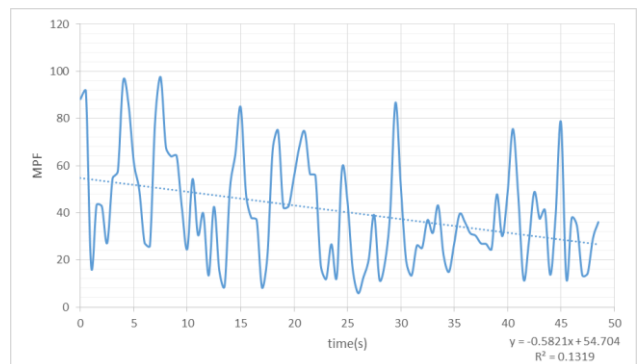


図 6 前脛骨筋の MPF 低下

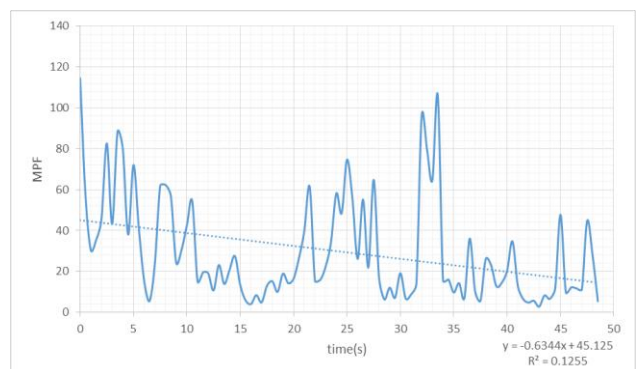


図 7 腓腹筋の MPF 低下

表 1 レース中の心拍数

心拍数	1 本目	2 本目	3 本目
最大心拍数	191bpm	192bpm	188bpm
滑走数分後の心拍数	133bpm	137bpm	121bpm
滑走前心拍数	145bpm	143bpm	122bpm

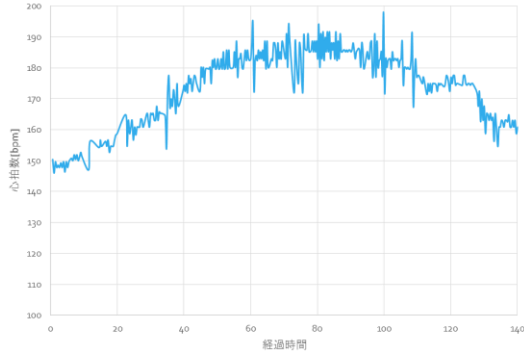


図 8 レース中の心拍数変動

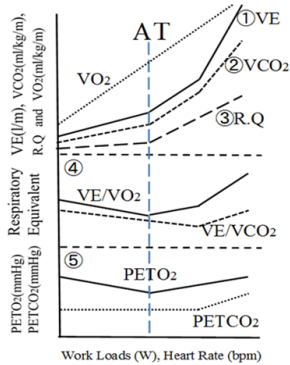


図 9 Anaerobic Threshold(AT)の決定

表 2 心拍数-酸素摂取量関係

心拍数-酸素摂取量関係	$y = 2.5953x + 43.776$
AT@HR(AT-心拍数)	114.3bpm
AT@Vo2 (AT-酸素摂取量)	27.1ml/kg/min

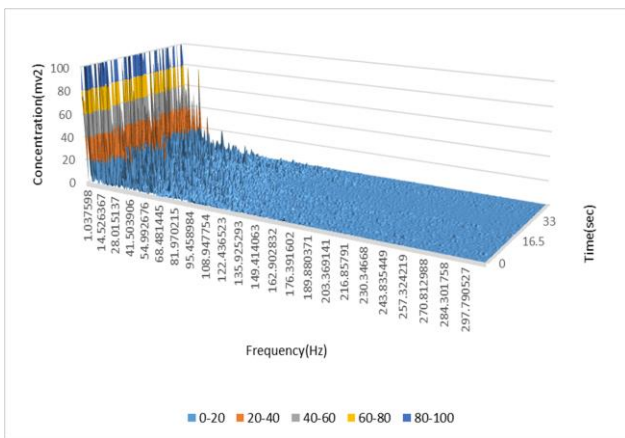


図 10 鉛直方向の振動

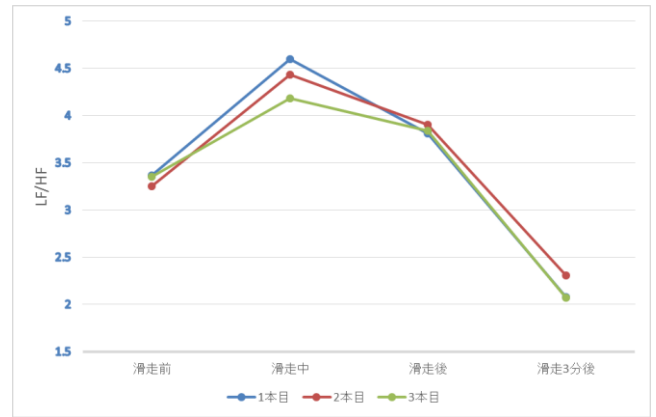


図 11 レーシング前後での LF/HF 推移

4. 結語

本研究では、スキー実滑走時の生理生体情報と機械力学情報を同一ユニットで同期並列的に計測可能なシステムを構築し、競技中のスキー板の機械力学情報と脚部 EMG 及び ECG の同時並列計測を行い、体力的要素及び技術的要素、心理的要素について検討するとともに、特に自律神経動態について着目した。その結果、ECG より算出した LF/HF からレース中の競技者の自律神経状態が同定され、競技者の心理状態を評価できる可能性が示唆された。

文 献

- [1] 高田晴子, 高田幹夫, 金山愛“心拍変動周波数解析の LF 成分・HF 成分と心拍変動係数の意義—加速度脈波システムによる自律神経機能評価—”, 総合健診, vol.32, no.6, pp.504-512, 2005.
- [2] Shionoya,A, “Manufacture of ski vibration source simulator in skiing”, Jpn, Soc.Ski Sci, 2012;22:37-42.
- [3] 星野直, 塩野谷明, “レーシング・パフォーマンスの向上を目的とした生理情報と力学情報の同時並列計測”, 日本スキー学会第 25 回大会講演論文集 (2014), pp.56-59.
- [4] 棚橋良治, “スキー滑走のメカニズム”, 日本機械学会誌, vol.95, no.888, pp.1001-1004, 1992.
- [5] 牛山幸彦, 木村徹, “膝関節角度を参照した筋電図解析によるスキー運動時筋疲労評価システム”, 生体医工学, vol.43(4), no.616-622, 2005.