

制御工学手法を用いた三次元加速度信号からの 酸素摂取量ダイナミクス計測システムの開発

山形大学大学院 新 関 久 一
(共同研究者) 同 齊 藤 直
山形県立保健医療大学 内 田 勝 雄

Development of A Transfer Function Method for the Assessment of Oxygen Uptake Dynamics during Walking by Use of a Triaxial Accelerometer

by

Kyuichi Niizeki, Tadashi Saitoh
*Graduate School of Science and Engineering,
Yamagata University*
Katsuo Uchida
*Department of Physical Therapy,
Yamagata Prefectural University of Health Sciences*

ABSTRACT

The use of accelerometry to assess physical activity has become more common in recent years. However, accelerometer devices are unable to determine dynamics of energy expenditure (EE) due to the lack of precision and temporal resolution. In the present study, we propose a novel method to predict EE based on transfer function (TF) analysis between oxygen uptake (VO_2) and triaxial accelerometer signals. Ten healthy subjects performed incremental treadmill walking test consisted of 4-min incremental speeds ranging from 2.5 km/h to 6.5 km/h with the increment of 1km/h. The amplitude of the three dimensional vector of body acceleration (A_{3D}) was linearly related with VO_2 during the speeds ranging from 2.5 to 5.5 km/h. Then, we employed pseudorandom binary sequence exercise test switching the speeds between 2.5km/h and

5.5km/h to determine the individual TF relating A_{3D} to VO_2 by applying autoregressive with extra input model. To evaluate the accuracy of the estimated TF, VO_2 response was predicted by convolving the determined impulse response with corresponding A_{3D} obtained from square wave transition treadmill walking test at the speed from 2.5 km/h to 5.5 km/h. The average root mean square error between predicted and measured VO_2 during on-step transition was 1.18 ml/kg/min (range 0.79 to 1.75 ml/kg/min). Gait frequency can be precisely estimated by the phase derivative of A_{3D} signal with the error less than 1.5%. We conclude that VO_2 on-kinetics can be estimated from A_{3D} by using an individual TF estimate together with the gait frequency. The proposed method should be useful for estimating VO_2 dynamics during walking and may be beneficial to the estimation of EE during rehabilitation usually held in situations without a gas analyzer. Further research should be needed whether the method could be applied to the ambulatory activities of walking and/or running.

要 旨

中高年齢者の健康管理や肥満防止、心疾患患者への運動処方などを行う上で、身体活動量（エネルギー代謝）を定量的に把握することは重要であり、その無拘束無侵襲計測法の開発が望まれている。エネルギー代謝を推定するために、加速度計を用いた身体活動量の計測が行われているが、基礎代謝の倍数（代謝当量、METs）で表される大まかな定常値しか提供せず、時々刻々と変化する代謝量を推定する手法はこれまでに提案されていない。本研究では、制御工学的手法により三次元加速度の瞬時振幅（ A_{3D} ）と酸素摂取量（ VO_2 ）間の伝達関数から VO_2 ダイナミクスを推定する新しい手法を提案した。被験者10名にトレッドミルを用いて A_{3D} と VO_2 間の線形性を調べるための多段階漸増負荷（INC）、伝達関数を推定するための疑似ランダム負荷（PRBS）および検証用のステップ負荷（SW）を課した。INC は 2.5km/h から 6.5km/h まで 4 分毎に 1km/h ずつ漸増する負荷であり、PRBS は 2.5km/h と 5.5km/h の二値系列がランダムに変化する負荷で

ある。SW は 2.5km/h から 5.5km/h へのステップ状負荷である。INC で計測した A_{3D} と VO_2 の定常状態値は 2.5 km/h ~ 5.5 km/h まで線形性が確認された ($r=0.996$)。PRBS で推定したインパルス応答とステップ負荷で計測した A_{3D} のコンボリューションから VO_2 ダイナミクスを予測した。実測値と予測値の RMSE は平均で 1.18ml/kg/min であり、良好な推定結果が得られた。また、加速度の瞬時位相から推定した歩行周波数の誤差は 1.5% 未満であった。本研究で提案する手法は、歩行運動時のエネルギー消費量と歩行リズム周波数の推定ができ、リハビリテーション現場などのガス分析器が使用できない環境などで有用と考えられた。今後、屋外での検証やランニングでの適用性など更なる検討が必要である。