

令和 3 年 6 月 30 日現在

機関番号：51201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K01774

研究課題名(和文) ウェアラブルデバイスを用いた身体活動量評価のための酸素摂取動態に基づく代謝推定法

研究課題名(英文) Metabolic Estimation Method Based on Oxygen Intake Dynamics for Evaluation of Physical Activity Using Wearable Devices

研究代表者

鈴木 明宏 (SUZUKI, AKIHIRO)

一関工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：60500428

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：日常生活における身体活動量を把握することは健康管理、食事管理、運動基準の検討のために重要である。近年、手首や腰部に身につけることで身体活動量が推定できるウェアラブルデバイスが普及しているが、日常生活で使用した場合、エネルギー消費量が過小評価されることが報告されている。日常生活では数分未満の短時間活動のインターバル動作が多く、運動後の過剰酸素消費に相当する代謝量が無視できないことが要因の一つと考えられる。そこで本研究では運動時後の酸素消費量動態を考慮した短時間・インターバル運動における代謝量のモデル化を行い、実験によって代謝推定式を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日常生活における身体活動量を把握することは健康管理、食事管理、運動基準の検討のために重要である。また最近では、新型コロナウイルス感染拡大防止対策に伴う運動不足改善としても有効である。従来のエネルギー消費量の推定方法は、定常運動を前提としたものであり、日常生活行動は数分未満の短時間活動が多く使えない。そこで、本研究では、短時間活動におけるエネルギー消費量推定式を提案した。

研究成果の概要(英文)：It is important to understand the amount of physical activity in daily life for health management, dietary management, and exercise standards. In recent years, wearable devices that can be worn on the wrist or waist to estimate the amount of physical activity have become popular, but it has been reported that energy consumption is underestimated when used in daily life. One of the reasons for this is that the metabolic rate corresponding to the excess oxygen consumption after exercise is not negligible in daily life, since there are many interval activities lasting less than a few minutes.

研究分野：人間医工学

キーワード：エネルギー消費量 呼気ガス 日常生活 短時間運動 歩行 酸素摂取量 酸素消費量動態 EPOC

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

厚生労働省の健康増進普及月間統一標語「1に運動, 2に食事, しっかり禁煙, 最後にクスリ」で示されるように, 健康増進普及の第1に運動があげられているが, 国民の2/3が運動習慣を身につけていないという報告がある(厚生労働省, 2013). また, 健康づくりのためには, 運動以外にも, 日常生活における労働, 家事, 通勤・通学などのいわゆる生活活動における身体活動を高めることも重要ということが示されている(厚生労働省, 2013). したがって, 運動習慣の無い者にとっては, 日常生活のなかでどれだけ身体活動をしているのかを把握し, 意図的にエネルギー消費の高い日常生活を心がけることが健康づくりに効果的である.

2. 研究の目的

日常生活における身体活動の継続時間に関して次のような報告がある. Whittらは, African-American 成人女性 55名を対象に8日間の行動を調べ, 中高強度の身体活動の60%以上が継続時間1分未満であったと報告している(Whitt et al., 2003). また, 綾部らは, 70名の邦人女性1週間の行動を調べ, 低強度の身体活動が中高強度身体活動に比べて一番頻度が多い, 運動強度によらず継続時間が30秒未満の身体活動が90%を占めたと報告している(綾部他, 2008). 以上のように日常生活の身体活動は数分未満の短時間活動が大部分を占めるという傾向があることがわかる. つまり, 日常生活において身体活動量を正確に把握するためには, 短時間行動を対象とした活動量推定が必要となる. しかし, 従来の方は, 定常状態における身体活動を対象としたものである. すなわち, 運動時の酸素消費は運動開始時から急増し, 活動の強度に応じて数分後定常値に達することから, その定常値を元にした推定値が用いられてきた. たとえば, 一般的に広く使われている, American College of Sports Medicine (ACSM) の代謝計算式の適用条件は, 定常状態における有酸素運動とされている(American College of Sports Medicine, 2014). そこで本研究では, 定常状態に達しない短時間の運動に着目し, その酸素摂取動態に基づいた酸素摂取量推定法を提案し, 短時間運動の酸素摂取量を推定可能か検証した.

3. 研究の方法

3-1. 酸素摂取量推定式のモデル化

短時間歩行時の酸素摂取量の変化を図1に示す. 安静期では, 安静立位状態であり, この区間の平均酸素摂取量がベースライン($\dot{V}O_{2base}$)となる. 歩行開始後の歩行期では, 運動によって筋収縮に必要なエネルギーを供給するために酸素摂取量が急激に増加し, この区間のEOCを $\dot{V}O_{2EOC}$ とする. 歩行停止後回復期ではクレアチン燐酸の再合成や, 酸素を血液や筋肉に再供給するために継続して酸素が利用される. この区間の $\dot{V}O_{2base}$ 以上を $\dot{V}O_{2EPOC}$ とし, 回復期の終了点は, $\dot{V}O_{2EPOC}$ が $\dot{V}O_{2base}$ を下回った点とした. $\dot{V}O_{2EOC}$ 及び $\dot{V}O_{2EPOC}$ は, 一次のステップ応答及びインパルス応答として, 式(1)及び式(2)で表される(Larsson, 1982; Zanonato et al., 1991).

$$\dot{V}O_{2EOC} = \dot{V}O_{2ss} \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau_1}\right)}\right) + \dot{V}O_{2base} \quad (1)$$

$$\dot{V}O_{2EPOC} = \dot{V}O_{2t_1} e^{-\left(\frac{t-t_1}{\tau_2}\right)} \quad (2)$$

ここで, $\dot{V}O_{2ss}$ は定常状態における $\dot{V}O_{2base}$ 以上の酸素摂取量を, t は運動開始からの時刻, τ_1 , τ_2 は運動時, 運動後の酸素摂取量動態の時定数である. 図1における各区間の酸素摂取量 EOC, EPOC, TEOC は,

$$EOC = \int_0^{t_1} \dot{V}O_{2EOC} dt \quad (3)$$

$$EPOC = \int_{t_1}^{t_2} \dot{V}O_{2EPOC} dt \quad (4)$$

$$TEOC = EOC + EPOC \quad (5)$$

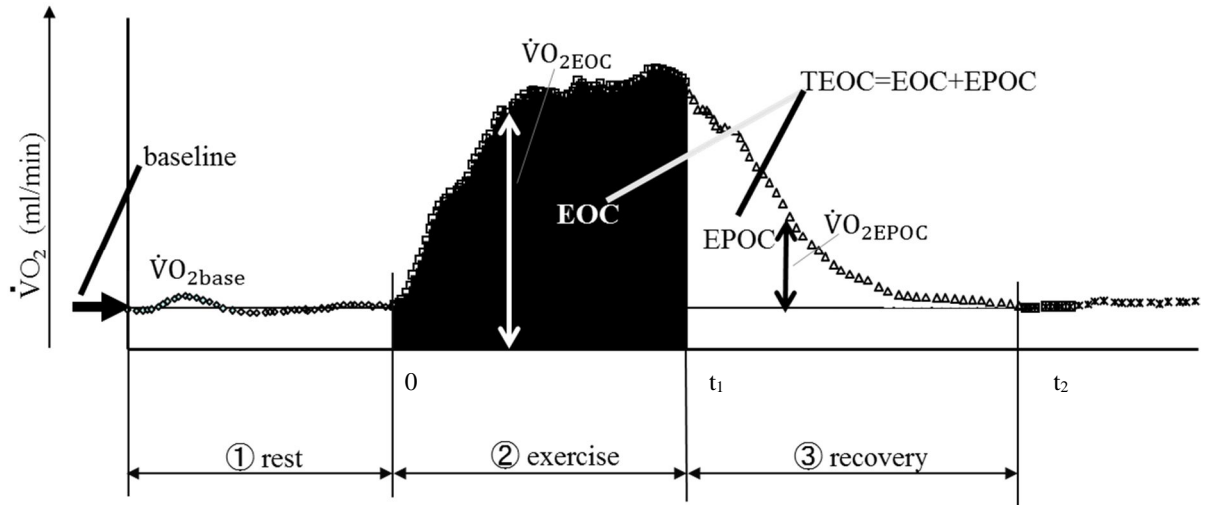


Fig. 1 An example of $\dot{V}O_2$ response and exercise protocol of the experiments. (TEOC) is the sum of O_2 consumed both during the exercise (EOC) and during recovery (EPOC).

$$\begin{aligned}
 \dot{V}O_2 &= TEOC / t_1 \\
 &= (EOC + EPOC) / t_1 \\
 &= \left(\int_0^{t_1} \dot{V}O_{2EOC} dt + \int_{t_1}^{t_2} \dot{V}O_{2EPOC} dt \right) / t_1 \\
 &\cong \dot{V}O_{2ss} + \dot{V}O_{2base} + \dot{V}O_{2ss} \cdot (\tau_2 - \tau_1) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_1}{\tau_1}} \right) \cdot \frac{1}{t_1}
 \end{aligned} \tag{6}$$

となり、運動時間 t_1 における単位時間あたりの酸素摂取量 $\dot{V}O_2$ は式(6)となる。なお、短時間運動の場合、EOC に対して EPOC の割合が大きくなるため (Hancock et al., 2001), TEOC を用いた。一方、ACSM の歩行/走行における代謝方程式は R (Resting Component), H (Horizontal Component), V (Vertical Component) で構成され、また定常状態の酸素摂取量であることから (American College of Sports Medicine, 2014) 次の関係となる。

$$\begin{aligned}
 \dot{V}O_{2ss} &= H + V, & \dot{V}O_{2base} &= R \\
 \left\{ \begin{array}{l} R : 3.5 \text{ mL} / \text{kg} / \text{min} \\ H : \text{Walking } 0.1 \times v, \text{ Runnig } 0.2 \times v \\ V : \text{Walking } 1.8 \times v \times \text{grade}, \text{ Runnig } 0.9 \times v \times \text{grade} \end{array} \right.
 \end{aligned} \tag{7}$$

ここで v は歩行速度、 grade は傾斜角である。式(6)に式(7)を代入する。

$$\dot{V}O_2 = (R + H + V) + (H + V) \cdot (\tau_2 - \tau_1) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_1}{\tau_1}} \right) \cdot \frac{1}{t_1} \cdot \alpha + \beta \tag{8}$$

α , β はモデル化誤差の補正係数であり、実験により算出する。また、酸素摂取時定数 τ_1 , τ_2 は、個人の運動能力に依存し一意に決めることができない (Koga et al., 2005)。式(8)を用いて酸素摂取量を推定する場合、簡易に τ_1 , τ_2 を推定することが必要となる。本論文における τ_1 , τ_2 は、呼気ガス分析計によって測定した値を使用する。式(8)の2項目は、運動時間 t_1 が大きい場合微小値となり、つまり定常状態では無視できることから、式(8)は短時間運動を含めた ACSM 代謝方程式の拡張版といえる。

Table1 Demographical data and experiment conditions of the subject

Subject	Weight(kg)	Height(cm)	Age	Sex	Year of Sport experience	Walking Speed(m/min)			Runnig Speed(m/min)	
						Slow	Usualy	Fast	Slow	Usualy
Subject1	46	150	22	Female	6 years(Track and field)	42	47	55	70	83
Subject2	54	162	21	Female	nothing	15	18	25	43	50
Subject3	55	165	21	Female	5 years(Softball)	25	43	53	73	85
Subject4	53	155	22	Female	4 years(Teakwondo)	33	50	55	58	62
Subject5	56	159	22	Female	nothing	38	50	60	70	75
Subject6	68	161	22	Female	nothing	25	37	45	60	68
Subject7	54	158	21	Female	4 years(Teakwondo)	47	57	67	72	80
Subject8	57	156	21	Female	3 years(Dance)	37	47	53	53	62
Subject9	52	156	19	Female	10 years(Volleyball)	25	32	40	52	60
Subject10	48	163	21	Female	1 year(Teakwondo)	35	45	50	50	58
Subject11	57	163	21	Female	nothing	35	38	53	52	62
Subject12	48	151	21	Female	3 years(Fitness gym)	40	48	62	57	77
Subject13	58	170	20	Female	2 years(Dance)	43	50	58	57	72
Subject14	49	156	21	Female	3 years(Futsal)	42	48	58	53	65
Subject15	48	162	20	Female	nothing	35	42	52	48	55
Subject16	47	165	21	Female	nothing	37	42	52	52	57
Subject17	53	155	21	Female	nothing	40	50	58	55	62
Subject18	54	165	21	Female	3 years(Basketball)	43	50	63	63	72
Subject19	56	156	20	Female	nothing	43	52	60	55	67
Mean	53	159	21			36	44	54	58	67
STD.div	5	5	1			8	9	9	8	10

Table2 The conditions of the experiments

Type	Speed	Exercise Duration
Walking	slow	
Ascending	usually	1min
Descending	fast	3min
Running	slow	5min
	usually	

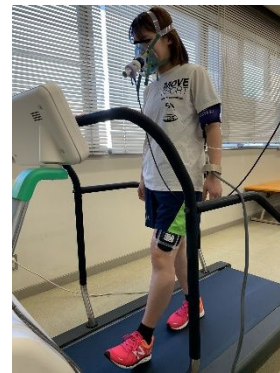


Fig. 2 Expiratory gas monitor and treadmill.

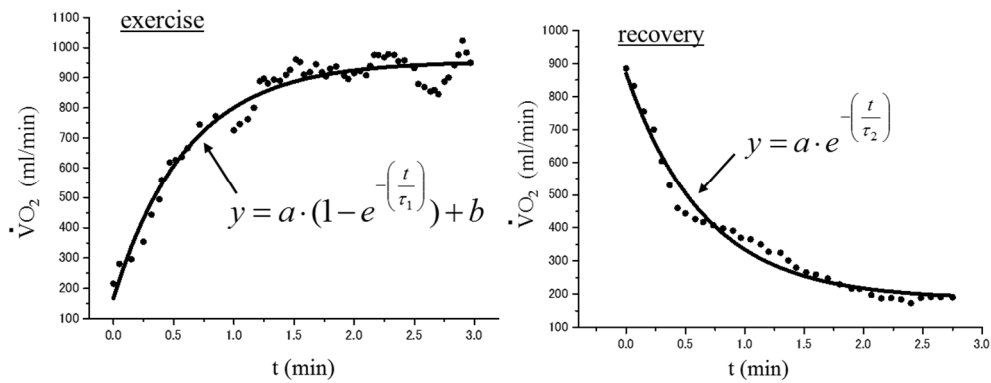


Fig. 3 Best-fit single exponential of $\dot{V}O_2$ response.

3-2. 実験方法

(1) 対象

健康女性 19 名（年齢 21 ± 1 歳，身長 159 ± 5 cm，体重 53 ± 5 kg，平均 \pm 標準偏差）を対象とした（表 1）。実験室は，室温 25 の条件で行った。実験前日の飲酒，高強度の運動は禁止し，実験当日の運動は禁止した。本実験はヘルシンキ宣言に則り，被験者のインフォームド・コンセントを得て行った。また，東京都立大学研究倫理審査委員会の承認を得た。

(2) 測定方法

携帯型呼気ガス分析装置（エアロソニック AT-1100，アニマ製，東京）を装着し，トレッドミル（Motorized Treadmill7550，Power First Fitness International Co. Ltd, 台湾）を用いて，平地/上り歩行を 3 種類の速度（遅い/普通/速い）及び走行を 2 種類の速度（遅い/普通）に設定し，3 種類の運動時間（1, 3, 5 分），計 33 種類（歩行 $2 \times$ 速度 $3 \times$ 時間 $3=18$ 種類，走行速度 $2 \times$ 時間 $3=6$ 種類）の条件で（表 2），図 1 における，安静期，歩行期，回復期の酸素摂取量を測定した。3 種類の歩行速度及び 2 種類の走行速度は，あらかじめ個人ごとにトレッドミル上で遅い，普通，速いと感じる速度を調整し，その速度を実験で使用した（表 1）。トレッドミルの勾配は上り/下り歩行時 $\pm 10\%$ とし，それ以外は 0% とした。

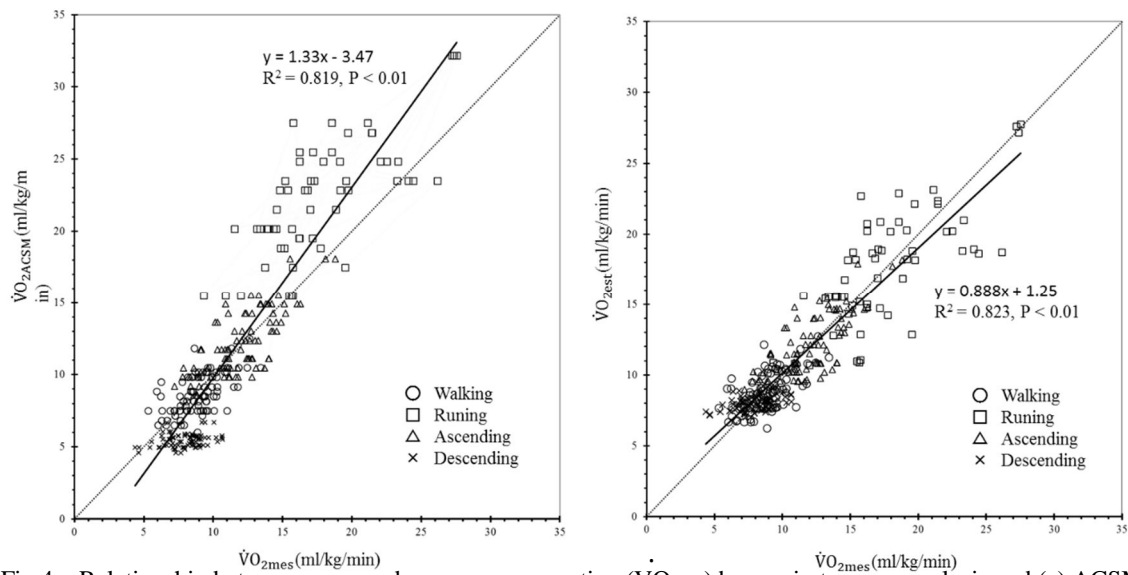


Fig.4 Relationship between measured oxygen consumption ($\dot{V}O_{2mes}$) by respiratory gas analysis and (a) ACSM equation or (b) estimated oxygen consumption ($\dot{V}O_{2est}$) from equation 8 for all 10 subjects during treadmill walking and running.

Table 3 The correction factors for (8) equation, coefficient of determination and cross validation of the relationship between measured oxygen consumption by respiratory gas analysis and estimated oxygen consumption

Mode	Correction Factors for (8) Equ.		Coefficient of Determination R^2	Cross Validation	
	α	β		RMS(ml/kg/min)	RMS(mean%)
Walking	0.142	0.232	0.419	2.14	24.3
Running	0.0477	-4.66	0.531	2.07	11.9
Acending	0.0418	-0.246	0.577	1.89	15.8
Decendig	0.332	2.44	0.150	1.44	20.3

4. 研究成果

解析結果を表 3 に示す。表 3 の α , β を式 (8) に代入し推定した酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2est}$) と，呼気ガス分析計で測定された酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2mes}$) との関係を図 4, 図 5 に示す。また，図 4 には ACSM 代謝方程式で推定した場合も示した。また，Bland-Altman 法 (Bland and Altman, 1986) による $\dot{V}O_{2est}$ と $\dot{V}O_{2mes}$ の誤差の性質を調べた結果，すべての動作において，差の平均値が平均値 $\pm 2S.D.$ の範囲内に収まっており，加算誤差は認められなかった。また，下り歩行以外は，相関係数が小さく有意性もなく，比例誤差が認められなかった。下り歩行については，比例誤差が確認された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 鈴木明宏, 茂庭優貴, 石井賢治, 藤原誠助, 永富良一	4. 巻 83
2. 論文標題 EPOCを考慮した短時間歩行・走行の代謝推定法	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 1,9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.16-00450	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 藤原誠助, 鈴木明宏, 石井賢治, 門間陽樹, 長名シオン, 永富良一	4. 巻 19
2. 論文標題 若年者における歩行速度, 歩行率を考慮した歩行時の運動強度推定	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 健康支援	6. 最初と最後の頁 19,26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 鈴木明宏	4. 巻 38
2. 論文標題 日常生活におけるコンプレッションウェア着用効果について	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 デサントスポーツ科学	6. 最初と最後の頁 201,206
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 菊地文耶, 鈴木 明宏
2. 発表標題 短時間歩行におけるエネルギー消費量の推定法
3. 学会等名 日本機械学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	古川 順光 (FURUKAWA MITUTOSHI) (50299799)	東京都立大学・人間健康科学研究科・准教授 (22604)	
研究 分担者	石井 賢治 (ISHI KENJI) (70422079)	公益財団法人大原記念労働科学研究所・研究部・研究員 (72703)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------