EPOC を考慮した短時間歩行・走行の代謝推定法

鈴木 明宏^{*1}, 茂庭 優貴^{*2}, 石井 賢治^{*3}, 藤原 誠助^{*4}, 永富 良一^{*4}

Estimation method of metabolic equivalents during short duration walking and running considering EPOC

Akihiro SUZUKI^{*1}, Yuki MONIWA^{*2}, Kenji ISHII^{*3}, Seisuke FUJIWARA^{*4}
and Ryoichi NAGATOMI^{*4}

^{*1,*2}National Institute of Technology, Ichinoseki College

Takanashi, Hagisho, Ichinoseki-shi, Iwate 021-8511, Japan

^{*3}The Ohara Memorial Institute for Science of Labour

1-1-12 Sendagaya, Shibuya-ku, Tokyo 151-0051, Japan

^{*4}Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University

2-1 Seiryō-machi, Aoba-ku, Sendai-shi, Miyagi 980-8575, Japan

Received: 13 January 2017; Accepted: 23 April 2017

Abstract

Amount of daily physical activity is strongly associated with the prevalence of lifestyle-associated diseases, and thus maintaining a certain level of physical activity is recommended. Amount of physical activity, namely energy expenditure, is commonly estimated from linear regression analysis of oxygen uptake during steady-state exercise of different intensities. Short-duration exercise, mainly walking lasting less than 3 minutes, has been reported to account for over 90% of the daily energy expenditure of healthy adults. The estimation of energy expenditure by ACSM Metabolic Equations used well, however, is based on steady-state exercise of more than 5 minutes, and energy consumption of shorter duration exercise is not commonly considered. Oxygen consumption remains elevated for some period of time after exercise. Then, the estimation of energy expenditure for short duration exercise must include excess post-exercise oxygen consumption (EPOC). The amount of EPOC change in duration exercise. Therefore, we attempted to elucidate the energy expenditure for $\dot{V}O_2$ kinetics. Ten healthy participants aged 19-54 y walked and ran for 1, 3 and 5 minutes on a treadmill at constant speed. Oxygen consumption during and post-exercise was measured using a portable gas analyzer in breath-by-breath mode. A best-fit exponential equation to estimate oxygen consumption from exercise duration and walking speed was generated. The root mean square (RMS) of estimate equations was calculated using Leave-one-out cross validation. The RMS(1.44~2.14 ml/kg/min) was lower, and the results of the Bland-Altman analysis revealed neither fixed nor proportional bias with the exception of the decent walking and running. An equation for the estimation of oxygen consumption at shorter durations of exercise was successfully generated. Accumulation of additional data may further improve the equation.

Key words : Oxygen consumption, EPOC, $\dot{V}O_2$ kinetics, Short duration, Walking, Running

No.16-00450 [DOI:10.1299/transjsme.16-00450], J-STAGE Advance Publication date: 10 May, 2017

^{*1} 正員, (独) 国立高等専門学校機構一関工業高等専門学校 機械工学科 (〒021-8511 岩手県一関市萩荘字高梨)

^{*2} (独) 国立高等専門学校機構一関工業高等専門学校 専攻科生産工学専攻

^{*3} (公財) 大原記念労働科学研究所 (〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷 1-1-12)

^{*4} 東北大学大学院医工学研究科 (〒980-8575 宮城県仙台市青葉区星陵町 2-1)

E-mail of corresponding author: asuzuki@ichinoseki.ac.jp

1. 緒 言

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と思われる.

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, 従来の方法は, 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.

2. 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. ①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②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②区間の EOC を $\dot{V}O_{2EOC}$ とする. 歩行停止後③回復期ではクレアチンリン酸の再合成や, 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③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; Zanconato 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. ①Subjects kept standing on a treadmill for 5 min before walking(running) to measure pre-exercise $\dot{V}O_2$ level (baseline, $\dot{V}O_{2base}$). ②Subjects performed walking(running) exercise on the treadmill. O_2 uptake of this period was defined as exercise oxygen consumption ($\dot{V}O_{2EOC}$). The EOC is integrated $\dot{V}O_{2EOC}$ in this period. ③Subjects kept standing off the treadmill after each exercise until $\dot{V}O_2$ level returned to baseline. O_2 uptake after the exercise above baseline level was defined as excess post-exercise oxygen consumption ($\dot{V}O_{2EPOC}$). The EPOC is integrated $\dot{V}O_{2EOC}$ in this period. The total exercise oxygen consumption (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。

$$\begin{aligned}
 \dot{V}O_{2ss} &= H + V, & \dot{V}O_{2base} &= R \\
 \left\{ \begin{array}{l} R : 3.5 \text{ mL/kg/min} \\ H : \text{Walking } 0.1 \times v, \text{ Running } 0.2 \times v \\ V : \text{Walking } 1.8 \times v \times \text{grade}, \text{ Running } 0.9 \times v \times \text{grade}, \text{ Descending } 1.8 \times v \times \text{grade}/3 \end{array} \right.
 \end{aligned} \tag{7}$$

ここで v は歩行速度, grade は傾斜角, V における Descending の項は, ACSM ステッピング方程式における下り成分である (ACSM 代謝方程式には歩行下りの場合が無い)。式(6)に式(7)を代入する。

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

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	Usually	Fast	Slow	Usually
Subject1	58	173	20	Male	5 years(tennis)	40	53	83	97	120
Subject2	77	177	19	Male	5 years(kendo)	30	47	63	83	110
Subject3	54	167	19	Male	3 years(tennis)	43	53	70	90	117
Subject4	57	170	40	Male	nothing	33	50	67	60	83
Subject5	58	171	19	Male	5 years(tennis)	40	57	67	70	100
Subject6	55	167	20	Male	nothing	40	67	90	100	143
Subject7	60	170	20	Male	2 years(table-tennis)	30	40	60	77	107
Subject8	57	167	54	Male	nothing	40	50	63	60	97
Subject9	64	177	19	Male	5 years(kendo)	40	50	57	80	100
Subject10	52	164	20	Male	5 years(base ball)	37	47	70	83	107
Mean(Median)	59	170	(20)			37	51	67	78	107
STD.div(range)	7	5	(19-54)			5	7	10	13	17

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.

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．

3. 実験方法

3・1 対象

健康男性 10 名（年齢 20(19-54) 歳，中央値(範囲)，身長 170 ± 5 cm，体重 59 ± 7 kg，平均 $\pm$ 標準偏差)を対象とした(表 1)．表 1 におけるスポーツ歴については工業高等専門学校における課外活動経験年数を示している．全ての被験者には実験の主旨を紙面及び口頭にて説明し，研究に参加する同意を得て実験を行った．実験室は，

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	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
Ascending	0.0418	-0.246	0.577	1.89	15.8
Descending	0.332	2.44	0.150	1.44	20.3

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。実験は複数日に行われ，特に食事制限は行っていないが，標準的な食生活とした。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，一関工業高等専門学校研究倫理審査委員会の承認を得た。なお，下りの試技において，被験者都合（転居）により被験者 subject4 の採取ができなかった。

3・2 測定方法

携帯型呼吸ガス分析装置(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/下り歩行を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3×速度3×時間3=27種類, 走行速度2×時間3=6種類)の条件で(表2), 図1における, ①安静期, ②歩行期, ③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±10%とし, それ以外は0%とした。呼吸ガス分析装置は, 各実験前に, 大気と校正用ガス(O₂ 15.06%, CO₂ 4.04%)を使い, O₂, CO₂濃度の2点校正を行った。呼吸を Breath by Breath 方式で計測し, 酸素摂取量, 二酸化炭素排出量, 分時換気量, 呼吸数, 呼吸交換比を呼吸ごとに記録した。図2は携帯型呼吸ガス分析装置を身につけたトレッドミル歩行実験の様子である。

3・3 分析方法

各歩行条件で呼吸ガス装置から得られた EOC と EPOC を合わせた TEOC を算出し(図1), 歩行時間で除した $\dot{V}O_2$ を求めた。酸素摂取量の測定データを用いて, 式(1), 式(2)の時定数 (τ_1 , τ_2) を図3に示すようにカーブフィッティングにより求め(Origin2015 使用), 歩行速度(v), 歩行時間(t_i)を式(8)に代入し, 最小二乗法で α , β を求めた。回帰分析, 相関分析を用いて統計的な検討を行った。

3・4 交差検定

推定式の精度検証は, 推定式構築用のモデル用データと検証用データに分割し, モデル用データで式(8)の補正係数を決定した後, 検証用データで精度を見る交差検定を行った。モデル用データあるいは検証用データの偏りを避けるために, Leave-one-out cross validation 法を用いた(Zanconato et al., 1991)。本研究では, 4条件(歩行, 上り, 下り, 走行)毎に検定を行い, 各全データから1被験者分のデータを抜き出したデータでモデルを構築し, 1被験者 データで検証を行うという作業を被験者数分繰り返すことで検証を行うというものである。

4. 結 果

酸素摂取量測定データから式(1), 式(2)でカーブフィッティングを行い, 時定数 τ_1 , τ_2 を求めた(図3)。なお, 本実験で用いた呼吸ガス分析計は Breath by Breath 方式のため, 極端に長い息をした場合, データ点が少なくカーブフィッティングできない場合があり, そのようなデータは分析対象から除外した。除外したデータ数は, 歩行 6 (全 90 サンプル), 上り 3 (全 90 サンプル), 下り 0 (全 81 サンプル), 走行 2 (全 60 サンプル) である。各条

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.

Fig.5 Relationship between measured oxygen consumption ($\dot{V}O_{2mes}$) by respiratory gas analysis and estimated oxygen consumption ($\dot{V}O_{2est}$) from equation 8 for all 10 subjects during treadmill walking and running.

Fig. 6 Bland-Altman analysis showing the precision of oxygen consumption estimation by equation 8.

件における時定数 ([min], 平均 $\pm$ 標準偏差) は, 歩行 ($\tau_1 = 0.631 \pm 0.502$, $\tau_2 = 0.679 \pm 0.313$), 上り ($\tau_1 = 0.786 \pm 0.394$, $\tau_2 = 0.761 \pm 0.287$), 下り ($\tau_1 = 0.369 \pm 0.562$, $\tau_2 = 0.574 \pm 0.492$), 走行 ($\tau_1 = 0.761 \pm 0.324$, $\tau_2 = 0.826 \pm 0.229$) である. 各歩行, 走行状態の解析結果を表 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, 呼吸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 $\dot{V}O_{2mes}$ の誤差の性質を図 6 に示す. すべての動作において, 差の平均値が平均値 ± 2 S.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. 考 察

図 4(a)は ACSM 代謝方程式で推定した値を示したが, 代謝量が少ない下りでは過少評価し, 代謝量が多い走行では過大評価という傾向を示している. これは EPOC 分を正確に評価していないためと推定される. これに対して本提案式(8)の場合は (図 4(b)) ACSM 代謝方程式のような傾向がみられず, ほぼ中央にばらついている. 動作形態ごとに測定値と推定値を比較した図 5, 6 を見ると, 提案した酸素摂取量推定式は, 下り動作以外は, 呼吸ガス分析装置で測定した値との相関係数が 0.7 程度と高く, 加算誤差, 比例誤差も認められなかった. また, 交差検定の結果 (表 3), 誤差の平均 RMS が 1.44~2.14 ml/kg/min (平均値の 11.9~24.3%) となり, 標準的な座位安静時代謝量 (3.5 ml/kg/min) 以下であった. 従って, 下り動作以外は, 本酸素摂取量推定式は短時間運動時の酸素摂取量を精度よく推定できるといえる. 下り動作に関しては, 比例誤差が認められたが, 酸素摂取量 6~9.5 ml/kg/min (歩行速度 30~60 m/min 相当) の範囲内であれば誤差範囲 ± 2.5 ml/kg/min での推定が可能である. また, 図 4(a)からわかるように ACSM 代謝方程式の影響が考えられ, 式 (8) のモデル化誤差の補正係数として, ACSM 代謝方程式部分の補正係数も必要であると思われる.

佐川らは水平及び垂直歩行の歩行速度を用いたエネルギー消費量推定モデルを提案し、3分間運動時のTEOCを用いて推定式を定義している(佐川他, 2008)。交差検定の結果も良好な精度を出しているが、交差検定時の運動時間はほぼ3分間である。したがって、モデル式算出時の運動時間とモデル式検証時の運動時間がおおよそ一致していることから、運動時間の違いによる影響はほとんど受けていないと考えられる。一方、本研究で提案した酸素摂取量推定式は、複数の運動時間条件下でモデル化している。TEOCにおけるEPOCの割合は運動時間に応じて変化することから(Hancock et al., 2001)、運動継続時間を考慮した本研究の推定式は、応用範囲が広いと考えられる。

本論文では、短時間運動(静止—運動—静止)を条件とした推定式であり、運動後の静止時間が短くEPOCがまだ存在し、酸素摂取量が運動前の値に達しない状態で次の運動を行うような場合の検討も必要である。短時間運動が連続し、運動後の静止時間が短い場合は、積算運動時間が長くなることから有酸素運動の比率が高まると考えられ、酸素摂取量は定常動作に近い値をとると予測される。また、今回は $\pm 10\%$ 勾配の歩行を対象にしたが、日常生活における階段利用のような短時間の急勾配の上り/下りにおいても同様に推定できるか検討する必要がある。

6. 結 言

本論文は、酸素摂取動態をもとにEPOCを考慮した酸素摂取量推定を行うことで、短時間運動の酸素摂取量を推定可能か検証し、有効性が確認された。本提案式は、短時間から定常状態に至る歩行時の酸素摂取量を正確に把握できるため、日常生活の運動強度を簡易にかつ高精度で推定することが可能となる。

文 献

- American College of Sports Medicine, ACSM's guidelines for exercise testing and prescription, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins (2014), p.173.
- 綾部誠也, 青木純一郎, 熊原秀晃, 田中宏暁, エクササイズガイド 2006 充足者の日常身体活動の継続時間ならびに頻度, 体力科学, Vol. 57 (2008), pp. 577-586.
- Bland, J. M. and Altman, D., Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement, The Lancet, Vol. 327, Issue 8476 (1986), pp. 307-310.
- Hancock, T. V., Adolph, S. C. and Gleeson, T. T., Effect of activity duration on recovery and metabolic costs in the desert iguana (*Dipsosaurus dorsalis*)., Comparative Biochemistry and Physiology Part A, Molecular & Integrative Physiology, Vol. 130, Issue 1 (2001), pp. 67-79.
- Koga, S., Shiojiri, T. and Kondo, N., Measuring VO₂ kinetics: The practicalities, oxygen uptake kinetics in sport, exercise and medicine (2005), pp. 39-61.
- Larsson, N., Ventilatory Control, Cardiac Output, and Gas-exchange dynamics during exercise transients in man (PhD thesis), Los Angeles: University of California (1982).
- 厚生労働省運動基準・運動指針の改定に関する検討会編, 健康づくりのための身体活動基準 2013 (2013).
- 佐川貢一, 大久保憲祐, 佐藤知子, 爪先装着型センサによる階段昇降を含む歩行時消費エネルギー推定, 計測自動制御学会論文集, Vol. 44, No.8 (2008), pp. 615-621.
- Whitt, M., Kumanyika, S. and Bellamy, S., Amount and bouts of physical activity in a sample of african-american women, Medicine and Science in Sports and Exercise, Vol. 35, No. 11 (2003), pp. 1887-1893.
- Zanconato, S., Cooper, D. M. and Armon, Y., Oxygen cost and oxygen uptake dynamics and recovery with 1 min of exercise in children and adults, Journal of Applied Physiology, Vol. 71, No. 3 (1991), pp. 993-998.

References

- American College of Sports Medicine, ACSM's guidelines for exercise testing and prescription, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins (2014), p.173.
- Ayabe, M., Aoki, J., Kumahara, H. and Tanaka, H., Duration and frequency of daily physical activity and achievement of exercise and physical activity reference for health promotion 2006, Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine, Vol. 57 (2008), pp.577-586(in Japanese).
- Bland, J. M. and Altman, D., Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement, The Lancet, Vol. 327, Issue 8476 (1986), pp.307-310.
- Hancock, T. V., Adolph, S. C. and Gleeson, T. T., Effect of activity duration on recovery and metabolic costs in the desert iguana (*Dipsosaurus dorsalis*)., Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, Vol. 130, Issue 1 (2001), pp. 67-79.
- Koga, S., Shiojiri, T. and Kondo, N., Measuring VO₂ kinetics: The practicalities, oxygen uptake kinetics in sport, exercise and medicine (2005), pp. 39-61.
- Larsson, N., Ventilatory Control, Cardiac Output, and Gas-exchange dynamics during exercise transients in man (PhD thesis), Los Angeles: University of California (1982).
- Ministry of Health, Labour and Welfare movement criteria • study on the revision of the exercise guidelines board ed., Physical activity standard 2013 for health promotion (2013) (in Japanese).
- Sagawa, K., Okubo, K. and Sato, T., Estimation of energy consumption during level walk and stair walk using tiptoe-mounted sensor, Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers, Vol. 44 No. 8 (2008), pp. 615-621 (in Japanese).
- Whitt, M., Kumanyika, S. and Bellamy, S., Amount and bouts of physical activity in a sample of african-american women, Medicine and Science in Sports and Exercise, Vol. 35, No. 11 (2003), pp. 1887-1893.
- Zanconato, S., Cooper, D. M. and Armon, Y., Oxygen cost and oxygen uptake dynamics and recovery with 1 min of exercise in children and adults, Journal of Applied Physiology, Vol. 71, No. 3 (1991), pp. 993-998.