

健康づくりのための運動基準に則した日常身体活動量評価における歩数の妥当性

熊原 秀晃¹⁾ Yves Schutz²⁾ 吉岡 真由美³⁾
吉武 裕⁴⁾ 進藤 宗洋¹⁾ 田中 宏暁¹⁾

Validity of the step-count for assessing the quantity of physical activity in the Japanese exercise and physical activity reference for health promotion

Hideaki KUMAHARA¹⁾ Yves SCHUTZ²⁾ Mayumi YOSHIOKA³⁾
Yutaka YOSHITAKE⁴⁾ Munehiro SHINDO¹⁾ Hiroaki TANAKA¹⁾

Abstract

OBJECTIVE : Recently, a new reference value for the quantity of physical activity (PA) has been set in the Japanese Exercise and Physical Activity Reference for Health Promotion (EPAR2006), particularly regarding the prevention of lifestyle-related diseases. This protocol recommends 23 METs·hour per week as the target volume of PA. Assessing step counts has become very popular and it may constitute one simple and practical technique for evaluating PA in large population studies. However, the details concerning its capacity to track the volume of PA in free-living conditions still remain insufficient. Therefore, the purpose of this investigation was 1) to examine the relationship between step counting by a simple mechanical (spring-levered) pedometer vs. accelerometer-determined step-counts measured during concurrent monitoring while mimicking daily living situations; and 2) to identify the number of steps per day that could be used as a proxy for the EPAR2006 for the METs·hour per week.

METHODS : Sixty healthy adults participated in study 1; the subjects spent over 24 hours in a large respiratory chamber. Spring-levered pedometers (PED_{STEP}) as well as an accelerometer (ACC_{STEP}) were rigidly attached on their waist in order to simultaneously determine the total daily step counts. In study 2, free-living measurements over 10.6 ± 4.3 continuous days were performed, while measuring steps·day⁻¹ as well as METs·hour·week⁻¹ using a validated accelerometer in 92 Japanese subjects.

RESULTS : In study 1, a significant relationship was observed between the PED_{STEP} vs. ACC_{STEP} ($r=0.470$, $p<0.001$). However, the PED_{STEP} was significantly lower than the ACC_{STEP} (-1888 ± 2016 steps·day⁻¹, $p<0.001$), thus indicating an important bias at low PA. In a multiple stepwise regression analysis including age, height, body weight, body mass index and % fat, the single parameter of age came out as a significant determinant of this absolute error ($r^2=0.172$, $p<0.001$).

1) 福岡大学スポーツ科学部 運動生理学研究室

Laboratory of Exercise Physiology, Faculty of Sports and Health Science, Fukuoka University

2) Lausanne 大学生物・医学部 生理学研究所

Department of Physiology, Faculty of Biology and Medicine, University of Lausanne, Switzerland

3) Laval 大学病院研究所 腫瘍・分子内分泌学研究部門

Molecular Endocrinology and Oncology Research Center, Laval University Medical Center, Canada

4) 鹿屋体育大学体育学部 スポーツライフスタイル・マネジメント系

Department for Interdisciplinary Studies of Lifelong Sport and Physical Activity, National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

In study 2, a significant relationship was observed between the steps·day⁻¹ assessed by the accelerometer and the METs·hour·week⁻¹ ($r=0.810$, $p<0.001$, $SEE=5.2$ METs·hour·week⁻¹). Moreover, a geometric mean regression between both measures revealed that approximately 10,000 steps·day⁻¹ corresponded with 20.8 METs·hour·week⁻¹; however, the range of absolute error from the regression was relatively wide.

CONCLUSIONS : These results suggested that the inter-device difference of the step-counts was extended by aging. This might be due to the physical activity patterns and/or gait characteristics of some older subjects (i.e., shuffling), thus indicating that the accelerometer device should be employed to assess the number of steps taken in free-living conditions. Counting the total number of steps per day therefore does not fully provide accurate information on the volume of PA (i.e. METs·hour·week⁻¹) but it is only a rough predictor of the general PA in terms of displacement. Further study is thus called to explore whether an independent intervention effect on health consequence exists between the different targets of PA measures.

緒言

メタボリックシンドロームをはじめとした肥満関連疾患の予防や治療において、一定水準の身体活動量の保持は、エネルギー出納バランスの観点からも食事コントロールと並んで積極的に取り組むべき生活習慣の重要課題である。また、身体活動量と心血管疾患や代謝性疾患などの生活習慣病の発症の程度は密接に関連しており、日常生活や職業上の身体活動量が多いことは、疾病発症や死亡を減少させることが1980年代以降に欧米で行われた多くの縦断的疫学調査によって明らかにされてきた^{2, 3, 23)}。さらに、積極的な身体活動(運動)により高められる有酸素性作業能力が低いことは、冠動脈疾患罹患の独立した危険因子であり、さらには寿命にも関係することが明らかになってきている^{2, 3, 25)}。このように、生活習慣病対策において身体活動に対する関心が高まる中、我が国でも2006年に「健康づくりのための運動基準」³⁶⁾ならびに「健康づくりのための運動指針(エクササイズガイド)」³⁷⁾が策定された。これは、1989年に策定された「健康づくりのための運動所要量」以降に蓄積されてきた科学的エビデンスを加味したものであり、予てより重視されているスポーツやトレーニング等の体力を増進させるために目的を持って行う計画的かつ継続性のある身体動作である「運動」に、オフィスワークや家事、通勤など

の「生活活動」に関連した身体動作を加えた総量、つまり「身体活動」水準を向上させることを推奨している特徴がある。具体的には、身体活動の目標値として、年齢や性別に関係なく「中強度以上(3 METs以上)の身体活動を一週間あたり23 METs・時を目標に実施し、そのうち4 METs・時/週の運動量を確保すること」を推奨している。MET (metabolic equivalent) 値は、身体運動の強度を相対的に比較できる国際的な指標である。これに時間の要素を加味した「METs・時」は、活動の量であり、エネルギー消費量も反映する。このMETs・時は、「エクササイズ (Ex)」として本邦オリジナルの表記がされている。

ところで、身体活動を評価するポピュラーな指標の一つは、歩数である。歩数計は、操作・装着の簡便さ、比較的安価であること、通常の身体活動そのものを拘束しない非侵襲的かつ客観的な簡便法としてその利用価値が期待されている^{16, 31)}。Tudor-Lock ら³³⁾は、歩数が歩行の量を反映するとし、歩数を基に日常の身体活動水準を以下のようにランク分けしている：A)5000歩/日未満は“Sedentary lifestyle”の指標となる、B)5000~7499歩/日は“低レベルに相当する特別な運動やスポーツを実施しない典型的な活動量”、C)7500~9999歩/日は“中程度の活動レベル(やや活動的である)に相当し、なんらかの意図的な身体活動を有する”、D)10000歩/日以上は

“高レベル (十分に活動的である) に相当する”。先行研究で肥満度と一日の歩数の間に負の相関関係があり⁴⁾、さらに歩数の増加は体重や血圧、インスリン感受性や抵抗性を改善することが報告されている^{10, 29, 32)}。しかし、歩数のカウントのみで正確に一日の活動量 (エネルギー消費量) を反映できるかどうかは議論が続いている^{7, 8, 17)}。2つの先行研究^{7, 17)}で、歩数は、身体活動エネルギー消費量との間に関連性がないことが報告されている。一方、他の研究では歩数がエネルギー消費量の有意な説明変数となることが示唆されており⁸⁾、一定の見解は未だ存在しない。健康づくりのための運動基準・指針において、23Ex/週に相当する簡易指標として、歩数で8000~10000歩/日が示されている^{36, 37)}が、確固たるエビデンスはない。しかし、歩数がExの代替指標となり得るのであれば、運動基準の一般化や実際の指導現場での応用に有用となろう。

ところで、日常生活下で代表的な身体動作である歩行の量を歩数として評価する上で、計測の正確度は高い方が望ましいが、技術的側面から、近年、加速度計を応用した歩数計が注目されている。これは、加速度信号を基に正確に歩数を判定できることが期待されている。従来の歩数計の機械的な歩数計測原理は、一定レベル以上の振動が加わることによってバネが伸縮し、それに伴ってバネに連結した振り子 (spring-lever) が上下に動き、歩数をカウントするメカニズムである^{16, 31)}。一方で、加速度計法では、連続して重心加速度変化を計測し、歩数を評価するものである。先行研究において、spring-levered式歩数計は、67m/分未満の低速度の歩行中の歩数を過小評価することが報告されている^{5, 18)}。一方で、加速度計法では、速度変化に関わらず、そのような低い強度の歩行中でも歩数計測の正確性を有することが報告されている^{5, 18, 21)}。一般人の日常生活下の一日の身体活動量の多くは、低強度の活動で構成されているので²⁰⁾、spring-levered式の歩数計では、日常生活下の歩数を低く見積もる可能性がある。一方、加速度計法は、身体活動パターン (活動強度と継

続時間) を客観的に評価でき、エネルギー消費量の計算も可能であるなどといった、日常身体活動量の客観的評価法としての有用性が期待されている¹⁶⁾。

本研究の目的は、1)日常生活下における歩数の計測に関して従来の歩数計 (spring-levered) と加速度計内蔵の歩数計を比較した上で、2)「健康づくりのための運動基準2006」におけるExによる身体活動量の目標値と簡易指標である歩数の関係について加速度計法を用いて検討した。

方 法

1. 対象者

研究1の対象者は、健常な男性32名、女性28名であった (内訳は、日本人44名、ヨーロッパ人16名)。本対象者は、エネルギー代謝とその評価法に関する研究プロジェクト^{13, 14, 15)}に参加した者を一部含み、本研究の検討に必要なデータが得られている (下述する2種類の機器を装着した) 者を採用した。被検者の身体的特性は、次のとおりであった。年齢: 39.5 ± 12.5 歳 (21~64歳)、身長: 167.2 ± 9.5 cm (149.9~193.6cm)、体重: 63.1 ± 12.9 kg (39.9~95.8kg)、body mass index: 22.4 ± 3.2 kg/m² (17.0~29.0kg/m²)、体脂肪率: 20.8 ± 6.6 % (9.3~37.8%)。体脂肪率は、皮下脂肪厚法とインピーダンス法 (Model-HBF-302, オムロン社製, 東京) および空気置換法を用いて測定され、全ての測定値の平均値を採用した。測定は、先行研究¹³⁾の手順と同様に実施した。空気置換法は、BODPOD (Life Measurement, Inc, Concord, Canada) を用い、Brozekの式により体脂肪率が求められた。

研究2の対象は、邦人成人92名 (男性36名、女性56名)であった。対象者の年齢、身長、体重、body mass indexは、 38.6 ± 12.1 歳 (18~66歳)、 163.6 ± 8.5 cm (149.5~189.7cm)、 59.7 ± 12.7 kg (39.9~95.8kg)、 22.1 ± 3.3 kg/m² (17.0~32.5kg/m²)であった。なお、この内80名は、6ヶ月以上スイス連邦に在住している者であった。

被検者にはあらかじめ、実験の目的と内容についての詳細な説明を実施し、同意書に署名を得た上で測定を開始した。本研究は、スイス連邦ローザンヌ大学の倫理委員会の承認を受け実施した。

2. 測定項目および方法

研究1において、被検者は、24時間レスピラトリーチャンパー内（面積：13m²，体積：31m³）¹¹⁾ に滞在し、その間の身体活動は制限することなく、自発的なものとした。本法は、一日のエネルギー消費量測定法ゴールドスタンダードの一つであり、日常生活下の身体活動もトレッドミルウォーキング等の付加的な運動により模倣でき、先行研究³⁴⁾ でチャンパー内の身体活動レベルは、日常生活でのそれをよく反映することが示唆されている。実験手順は、先行研究^{13, 14)} と同様の標準的なプロトコルであり、2種の速度によるトレッドミル歩行（傾斜0%で、それぞれ3.9km/h, 5.1km/hの速度で30分間ずつ）のみを義務づけた。チャンパー内での主な身体活動は、テレビ鑑賞、読書、デスクワーク、洗面（トイレ含）、趣味の活動、部屋を歩き回る等の通常の日常生活に含まれているものであった。なお、義務とされた歩行運動以外でトレッドミルを使用することは禁じた。総エネルギー消費量および睡眠時代謝量は測定し、身体活動によるエネルギー消費量は、先行研究^{13, 14)} と同様の方法を用いて算出した。被検者は、日中（16時間）2種類の機器を腰部にベルトを用い固定し一日の歩数を計測された。一つは、多メモリー加速度計（piezoelectric）内蔵歩数計（Lifecorder、スズケン社製、名古屋：6.2×4.6×2.6cm, 40g）（ACC_{STEP}）であり、身体動作による0.06から1.94 Gの範囲の鉛直方向の加速度を32Hzで検知し、歩数を計測する。なお、本機の歩行中の歩数計測の精度は先行研究において確認されている^{6, 27)}。もう一方は、spring-levered式の歩数計（Model JM-280、山佐時計計器社（Yamax社）製、東京：4.0×3.7×1.0cm, 14g）（PED_{STEP}）を用いた。当製造社の歩数計は、0.35G以上の重心加速度を検知し³¹⁾、本研究で用いたモデルと同様の機器の歩行中の歩数計測の妥当性が検討されてい

る^{5, 26, 27)}。なお、上記2つの機器の歩数計測の機械的な精度は、日本工業規格（JIS）に認定されている。JIS規格では、振動試験装置により2.4 m/s²（0.24G）もしくは4.9m/s²（0.5G）の加速度で1000回動作させ、その時の歩数計の歩数表示が±3%以内であるとされている³⁹⁾。上記2つの機器で測定された歩数（ACC_{STEP} および PED_{STEP}）は、測定終了直後にディスプレイ上で確認し、記録した。

研究2において、日常生活下の歩数とExの評価は、研究1で用いた多メモリー加速度計内蔵歩数計（Lifecorder）を用いた。全対象者は、歩数計を7日間以上（10.6±4.3日（7～32日））、入浴と睡眠時を除き終日腰部に装着した。日常身体活動状況を評価する際に、十分な正確性と信頼性を保つためには、歩数計を用いた場合、最低7日間のデータが必要とされている¹⁹⁾。本機は、身体動作による加速度信号の大きさに応じて、4秒毎に歩数ならびにエネルギー消費量を評価すると同時に、独自のアルゴリズムにて活動強度を0～9の10段階の加速度指示強度に分類する。先行研究^{13, 14, 24, 40)}において、加速度指示強度は、レスピラトリーチャンパー法や二重標識水法で測定されたエネルギー消費量や呼気ガス分析により測定された歩行中のMETs値をよく反映することが報告されている。本研究では、先行研究¹³⁾の結果に基づき、10段階の加速度指示強度のうち、健康づくりのための運動基準の身体活動量として評価する中強度以上（3METs以上）に対応する4～9以上の加速度指示強度をそれぞれ、3.6, 4.3, 5.2, 6.1, 7.1, 8.3METsとして換算した。測定値は、測定期間終了後コンピュータへ転送し、専用の解析ソフトを介して、一日あたりの歩数（歩/日）および加速度指示強度毎の時間を得た。さらに、得られた加速度指示強度毎の時間に対応するMETs定数を乗じてExを算出した。これら測定値は、個人毎に測定期間で平均化した。

3. 統計処理

2種の歩数計の出力データ（ACC_{STEP} および PED_{STEP}）の関連性は、回帰分析を行い Pearson

の相関係数 (r) を算出した。両者の差の検討には対応のある t -tests を用い、年齢、体重、身長、body mass index、体脂肪率の影響について単相関分析、およびそれらを説明変数としたステップワイズ重回帰分析を用い検討した。

日常生活下の歩数 (歩/日) と身体活動水準 (E_x /週) の関係性の評価は、回帰分析を行った。加えて、両者間の幾何平均回帰式 (geometric mean regression; 標準主軸回帰式) を算出した。これは、両者それぞれを従属変数とした2つの一次回帰式の傾きの幾何平均として傾きを得た回帰式であり、回帰直線までの独立変数 x 、従属変数 y 方向の距離の積和 $\sum x y$ が最小となる性質を持ち、2変数それぞれを推定する際の独立・従属変数依存による誤差の影響を除外できる。

全ての統計処理は、StatView ソフトウェア (version 5.0.1, SAS Institute, Cary, NC) を用い、データは、平均値および標準偏差 (平均値 \pm SD) で示した。また、有意水準は、5%未満とした。

結 果

研究1において、レスピラトリーチャンバー法で測定された一日の総エネルギー消費量は、 2140 ± 365 kcal/日であった。また、身体活動エネルギー消費量は、 464 ± 137 kcal/日であり、TEEの $21.7 \pm 5.6\%$ を占めた。PED_{STEP} と ACC_{STEP} の間に有意な相関関係が認められた ($r=0.470$, $p<0.001$)。しかし、PED_{STEP} が有意に低く (-1888 ± 2016 , $p<0.001$)、計測された歩数 (歩/日) が少ないほど差が大きくなるという特徴が認められた (図1)。この差と年齢 ($r = -0.432$, $p<0.001$) および体脂肪率 ($r = -0.296$, $p<0.05$) の間に有意な負の相関関係が認められた。さらに、年齢、体重、身長、body mass index、体脂肪率を説明変数としたステップワイズ分析の結果、年齢のみが有意な説明変数として採用された ($r^2=0.172$, $p<0.001$)。

研究2において、日常生活下で測定された平均歩数 (ACC_{STEP}) は、 9042 ± 2610 歩/日 (男性：

8951 ± 2446 , 女性： 9100 ± 2731 歩/日) であり、 $17.5 \pm 8.8 E_x$ /週 (男性： $17.8 \pm 7.9 E_x$ /週, 女性： $17.4 \pm 9.4 E_x$ /週) であった。歩数と E_x /週の間には有意な正の相関関係が認められた ($r=0.810$, $p<0.001$; $SEE=5.2 E_x$ /週)(図2)。さらに、両者間の幾何平均回帰式により10000歩に相当するエクササイズは、平均20.8 E_x /週に相当し、一方、23.0 E_x /週に相当する歩数は、平均10652歩/日と推定された。

考 察

1. 従来の歩数計および加速度計法による歩数の計測

本研究の低身体活動レベルの対象では、従来のspring-levered式歩数計により計測された歩数 (PED_{STEP}) は、加速度計による計測値 (ACC_{STEP}) に比して有意に低値を示した。先行研究^{5, 27)} で、本研究で用いた加速度計は、歩行中の歩数計測に関して、spring-levered式歩数計よりも優れた精度を有することが報告されている。spring-levered式歩数計は、センサー部に一定レベル以上の振動が加わった際のみ歩数をカウントする仕組みである。一方、加速度計は、より低い強度の重心加速度の変化も連続的に測定できるので、信頼性の高い正確な歩数計測が可能であると考えられる。本研究で用いた国際的に信頼性の高いYamax (山佐時計計器) 社の歩数計は、トレッドミルを用いた一定速度の連続した平地歩行 (67~107m/分) 時の歩数計測では高い正確度を有するが、67m/分未満の低速時の歩行の際に発生する重心加速度は、spring-lever に対して不十分であり、歩行速度が低くなるほど歩数を過小評価することが報告されている^{5, 18, 21)}。日常生活下の歩数計測に関して、Tudor-Locke ら³⁰⁾ は、spring-levered式歩数計と加速度計 (本研究の製造社と異なる機器) の両者間に本研究で認められた誤差 (1888 ± 2016 歩/日) と同様の平均差を報告している (1845 ± 2116 歩/日)。このように、従来のspring-levered式歩数計は、加速時計内蔵の歩数計に比して日常生活下の歩数を実質的に過小評価

することが考えられる。この一つの要因として、身体動作による垂直方向の加速度を検知する両機器の計測閾値の相違（つまり、本研究の機器では0.35G vs. 0.06G）が考えられ、日常生活下の様々な強度の断続的な身体動作による歩数を spring-levered 式では十分に計測できない可能性が示唆された。

さらに、単相関分析ならびにステップワイズ分析により、両機の計測値の差は、加齢が影響していることが示唆された。高齢者に代表されるように、加齢により歩行スタイルは低速度かつ 'shuffling gait (摺り足歩行)' 様の特徴となる。これは、歩行中の垂直方向の加速度を鈍らせると考えられる。先行研究¹⁷⁾ で、shuffling gait の歩行の場合は、歩数計で計測された歩数はかなり過小評価されることが示唆されている。歩行中の歩数計測の精度は加齢により低下することが示唆されており²¹⁾、一定の精度を維持するためには、小さい加速度変化も計測可能な加速度計による歩数計測を推奨している。このように、現状の多くの spring-levered 式歩数計は、歩数計測の精度に不十分な点があり、高齢者に代表される不活動もしくは低速度の歩行が特徴となるような対象に関しては、使用の制限を踏まえる必要がある。さらに、最新の研究¹⁾ で、日常生活における加速度計と spring-levered 式歩数計の計測値の差は、低強度の活動時間に影響されており、同じ高齢者でも活動的な者は、不活動の者に比して機器間の計測値の差が小さく、若年者と同等の差であるという興味深い報告がある。つまり、計測精度は、加齢よりもむしろ一日の身体活動に占める低強度の活動時間の割合が影響している可能性を示唆している。

また、本研究で、単相関分析において歩数計測値の差と体脂肪率に負の相関関係が認められている ($r = -0.296$)。Crouter et al⁶⁾ は、ウエスト周径囲と body mass index が歩数計測の誤差と関連することを報告しており、本来はウエスト上に計測部が鉛直方向となるよう装着すべき歩数計が、腹部の脂肪などにより傾くため、身体運動に

よる重心加速度が機器に正しく伝達されないことが原因と考えられている。一方、加速度計については、同じ肥満者でも正確に計測できたことも報告されている。先行研究^{5, 26, 27)} で、本研究で用いた加速度計は、様々な製造社の機器と比較して優れた歩数の計測の精度を有することが示唆されている。また、多メモリ加速度計は、連続して身体活動の強度、頻度と時間を評価できるという利点があり、エネルギー消費量の評価も可能である¹⁶⁾。

以上のように、加速度計法を応用した機器は、従来の spring-levered 式歩数計に比して日常生活下の歩数を正確に計測する上で望ましい方法と考えられる。しかし、本研究では、日常生活下の歩数を正確に計測しておらず、あくまでも両機器の計測値差より検討したという研究の限界がある。また、先行研究¹⁾ で、本加速度計は、40m/分以下の超低速度の歩数を過小評価することが報告されており、本法においても日常生活下の歩数を過小評価していた可能性がある。

近年の技術開発の進歩により、従来法でも測定制度の高い機器も開発されはじめているようである。しかし、重要なこととして、このような機器を使用する際は、使用の事前に精度検定を行い、その測定限界などの特徴を把握しておく必要がある。

2. 身体活動量エクササイズ(Ex)と歩数の関連性

一日あたりの歩数と Ex/週の間に関連関係が認められた。さらに、両者間で算出された幾何平均回帰式により従来からの健康づくりの目標値である10000歩に相当するエクササイズは、平均20.8Ex/週であり、一方、新しい健康づくり基準である23Ex/週^{36, 37)} に相当する歩数は、10652歩/日と10000歩に近似した平均値を示した。ただし、その個人差は大きく、例えば、10000歩を達成している者でも、およそ10~30Ex/週と幅広く、半数以上の者は、23Ex/週を充足していない(図2)。また、本研究の対象者の平均歩数は、男性が8951 ± 2446、女性が9100 ± 2731歩/日

であり、「健康日本21」中間評価報告書³⁸⁾に示された現代成人の平均値(男性7532歩/日、女性6446歩/日)より平均的に高く、かつ女性については「健康日本21」の目標値(男性:9200歩/日、女性:8300歩/日)を充足していたにも関わらず、週当たりの E_x は、男性:17.8±7.9 E_x /週、女性:17.4±9.4 E_x /週であり、ガイドライン^{36, 37)}の目標活動水準に満たなかった。つまり、歩数は必ずしも正確に E_x を反映せず、例えば週当たり平均10000歩/日であっても、必ずしも23 E_x /週を充足しているとは限らないことを示唆している。本研究で用いた加速度計内蔵の歩数計は、加速度のサイズと頻度(歩数の判定に用いられる)を基に運動強度を判定するアルゴリズムを有しているため、ここでの E_x の測定に密接に関連していることに留意すべきである。つまり、より精密に E_x を測定した場合には、歩数による推定誤差はより大きくなる可能性が推察できる。先行研究において、歩数は、「移動」に関連する一般的な身体活動(つまり歩行)の量を反映するが、個々人の身体活動の質(エネルギー消費量)を判定するための有効な指標とはならないことが示唆されている^{7, 17)}。

近年、日常生活の身体活動水準を高めることが健康の保持増進に有益であることを示唆するエビデンスが集積され、国際的に運動習慣形成を主にした健康づくり策が啓蒙されている。その中では、本邦の健康づくりのための運動基準でも採用されているように、中等度(3 METs)以上の強度の身体活動の機会を増やすことが推奨されている⁹⁾。乳酸閾値強度を代表とした中強度の運動は、生活習慣病予防、リスクの改善から疾病治療にまで有効であることが多くの研究で明らかになっている^{12, 22, 28)}。このような点からも、身体活動の強度、時間、頻度を併せて評価することが、実際の運動指導の現場においても重要と考えられる。本研究で用いた歩数計は加速度計が内蔵されており、歩数と同時に活動の強度と時間、頻度を連続的に測定できるよう設計されており、その妥当性も検証されている^{13, 14, 24, 40)}。

以上のように、現状の健康づくりの為の身体活動の目標の第一基準は、活動の総量(強度×時間:つまり、 E_x)であり、歩数はあくまでも簡易的な指標であるという制限を有する。一方、いくつかの身体活動介入研究において、歩数は、健康増進に関連する指標であることが示唆されている^{4, 10, 29, 32, 35)}。今後、歩数と E_x について、各種検査項目や体力などを基準として実際の介入効果の比較を行い、それぞれの指標の意義を明らかにする必要がある。

結 語

日常生活の歩数の計測に関して、従来のspring-leveredシステムの歩数計は、加速度計に比して低値を示すことが示唆された。これは、身体動作による重心加速度の計測閾値の両機器間の相違によるものであり、特に加齢による歩行スタイルの変化(例えば、摺り足様の歩行)や、低強度の断続的な活動に影響を受け、計測値の差が大きくなる可能性が推察された。このように、日常生活下の歩数をより正確に計測する為には、加速度計法を応用した機器を使用することが望ましいと考えられた。

歩数は、「健康づくりのための運動基準・指針2006」で推奨されている身体活動量23 E_x /週を必ずしも正確に反映しないので、健康づくりの指導現場で応用する際には留意すべきである。また、評価法の選択は慎重にすべきであるが、加速度計法は、歩数の計測と同時に、身体活動の強度、時間、頻度を評価し、 E_x の算出が可能であるなどといった運動処方に必要なインフォメーションを得ることができるという利点を有している。

謝 辞

本研究の一部は、厚生労働省厚生科学補助金(H13-21th-31)により実施された。対象者のリクルーティングにご助力をいただいたスイス連邦在住の協力者ならびにThe Japan Club of Geneva, The Swiss-Japanese Journal Gruezi, The

Swiss Happy Net (<http://www.swippy.ch/>)をはじめとした現地日本人会、また、本研究実施において研究機材の準備等で多大なるご尽力いただいた、福岡大学スポーツ科学部運動生理学研究室関係者各位、特に八尋拓也氏、細谷誠子氏、山内美代子氏にこの場をお借りして深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Ayabe M, Ishii K, Takayama K, Aoki J, Shindo M & Tanaka H: Comparison of inter-device measurement difference of pedometers in younger and older adults. *Br J Sports Med*, 2008 [Epub ahead of print]
- 2) Blair SN, Goodyear NN, Gibbons LW & Cooper KH: Physical fitness and incidence of hypertension in healthy normotensive men and women. *JAMA* 252: 487-490, 1984
- 3) Blair SN, Kohl HW 3rd, Paffenbarger RS Jr, Clark DG, Cooper KH & Gibbons LW: Physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy men and women. *JAMA* 262, 2395-2401, 1989
- 4) Chan CB, Spangler E, Valcour J & Tudor-Locke C: Cross-sectional relationship of pedometer-determined ambulatory activity to indicators of health. *Obes Res* 11: 1563-1570, 2003
- 5) Crouter SE, Schneider PL & Karabulut M & Bassett DR, Jr.: Validity of 10 electronic pedometers for measuring steps, distance, and energy cost. *Med Sci Sports Exerc* 35: 1455-1460, 2003
- 6) Crouter SE, Schneider PL & Bassett DR Jr: Spring-levered versus piezo-electric pedometer accuracy in overweight and obese adults. *Med Sci Sports Exerc* 37:1673-1679, 2005
- 7) Fogelholm M, Hiilloskorpi H, Laukkanen R, Oja P, Van Marken Lichtenbelt W & Westerterp K: Assessment of energy expenditure in overweight women. *Med Sci Sports Exerc* 30: 1191-1197, 1998
- 8) Gardner AW & Poehlman ET: Assessment of free-living daily physical activity in older claudicants: Validation against the doubly labeled water technique. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 53: M275-280, 1998
- 9) Haskell WL, Lee IM, Pate RR, Powell KE, Blair SN, Franklin BA, Macera CA, Heath GW, Thompson PD & Bauman A: Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med Sci Sports Exerc* 39:1423-1434, 2007
- 10) Iwane M, Arita M, Tomimoto S, Satani O, Matsumoto M, Miyashita K & Nishio I: Walking 10,000 steps/day or more reduces blood pressure and sympathetic nerve activity in mild essential hypertension. *Hypertens Res* 23: 573-580, 2000
- 11) Jequier E & Schutz Y: Long-term measurements of energy expenditure in humans using a respiration chamber. *Am J Clin Nutr* 38: 989-998, 1983
- 12) Kiyonaga A, Arakawa K, Tanaka H & Shindo M: Blood pressure and hormonal responses to aerobic exercise. *Hypertension* 7: 125-131, 1985
- 13) Kumahara H, Schutz Y, Ayabe M, Yoshioka M, Yoshitake Y, Shindo M, Ishii K & Tanaka H: The use of uniaxial accelerometry for the assessment of physical-activity-related energy expenditure: a validation study against whole-body indirect calorimetry. *Br J Nutr* 91:

- 235-243, 2004
- 14) Kumahara H, Tanaka H, Terrier P, Ishii K, Oppert JM, Guy-Grand B, & Schutz Y: Comparison of 2 accelerometers for assessing daily energy expenditure in adults. *Journal of Physical Activity and Health* 1: 270-280, 2004
 - 15) Kumahara H, Tanaka H & Schutz Y: Daily physical activity assessment: what is the importance of upper limb movements vs whole body movements?. *Int J Obes Relat Metab Disord* 28: 1105-1110, 2004
 - 16) Kumahara H, Ishii K & Tanaka H: Physical Activity Monitoring for Health Management: Practical Techniques and Methodological Issues. *Int. J Sport. Health Sci* 4: 380-393, 2006
 - 17) Leenders NY, Sherman WM, Nagaraja HN & Kien CL: Evaluation of methods to assess physical activity in free-living conditions. *Med Sci Sports Exerc* 33: 1233-1240, 2001
 - 18) Le Masurier GC & Tudor-Locke C: Comparison of pedometer and accelerometer accuracy under controlled conditions. *Med Sci Sports Exerc* 35: 867-871, 2003
 - 19) Matthews CE, Ainsworth BE, Thompson RW & Bassett DR, Jr.: Sources of variance in daily physical activity levels as measured by an accelerometer. *Med Sci Sports Exerc* 34:1376-1381, 2002
 - 20) Meijer EP, Goris AH, Wouters L & Westerterp KR: Physical inactivity as a determinant of the physical activity level in the elderly. *Int J Obes Relat Metab Disord* 25: 935-939, 2001
 - 21) Melanson EL, Knoll JR, Bell ML, Donahoo WT, Hill JO, Nysse LJ, Lanningham-Foster L, Peters JC & Levine JA: Commercially available pedometers: considerations for accurate step counting. *Prev Med* 39: 361-368, 2004
 - 22) Nishida Y, Tokuyama K, Nagasaka S, Higaki Y, Shirai Y, Kiyonaga A, Shindo M, Kusaka I, Nakamura T, Ishibashi S & Tanaka H: Effect of moderate exercise training on peripheral glucose effectiveness, insulin sensitivity, and endogenous glucose production in healthy humans estimated by a two-compartment-labeled minimal model. *Diabetes* 53:315-320, 2004.
 - 23) Paffenbarger RS Jr, Hyde RT, Wing AL & Hsieh CC: Physical activity, all-cause mortality, and longevity of college alumni. *N Engl J Med* 314: 605-613, 1983
 - 24) Rafamantanantsoa HH, Ebine N, Yoshiooka M, Higuchi H, Yoshitake Y, Tanaka H, Saitoh S & Jones PJH: Validation of three alternative methods of measuring total energy expenditure against the doubly labeled water method in older Japanese men. *J Nutr Sci Vitaminol* 48: 517-523, 2002
 - 25) Sawada S, Tanaka H, Funakoshi M, Shindo M, Kono S & Ishiko T: Five year prospective study on blood pressure and maximal oxygen uptake. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 20, 483-487, 1993
 - 26) Schneider PL, Crouter SE & Bassett DR: Pedometer measures of free-living physical activity: comparison of 13 models. *Med Sci Sports Exerc* 36: 331-335, 2004
 - 27) Schneider PL, Crouter SE, Lukajic O & Bassett DR, Jr.: Accuracy and reliability of 10 pedometers for measuring steps over a 400-m walk. *Med Sci Sports Exerc* 35: 1779-1784, 2003
 - 28) Sunami Y, Motoyama M, Kinoshita F,

- Mizooka Y, Sueta K, Matsunaga A, Sasaki J, Tanaka H & Shindo M: Effects of low-intensity aerobic training on the high-density lipoprotein cholesterol concentration in healthy elderly subjects. *Metabolism* 48: 984-988, 1999
- 29) Swartz AM, Strath SJ, Bassett DR, Moore JB, Redwine BA, Groer M & Thompson DL: Increasing daily walking improves glucose tolerance in overweight women. *Prev Med* 37: 356-362, 2003
- 30) Tudor-Locke C, Ainsworth BE, Thompson RW & Matthews CE: Comparison of pedometer and accelerometer measures of free-living physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 34: 2045-2051, 2002
- 31) Tudor-Locke C, Williams JE, Reis JP & Pluto D: Utility of pedometers for assessing physical activity: convergent validity. *Sports Med* 32: 795-808, 2002
- 32) Tudor-Locke C, Bell RC, Myers AM, Harris SB, Ecclestone NA, Lauzon N & Rodger NW: Controlled outcome evaluation of the First Step Program: a daily physical activity intervention for individuals with type II diabetes. *Int J Obes Relat Metab Disord* 21: 21, 2003
- 33) Tudor-Locke C & Bassett DR Jr: How many steps/day are enough? Preliminary pedometer indices for public health. *Sports Med* 34: 1-8, 2004
- 34) Westerterp KR & Kester AD: Physical activity in confined conditions as an indicator of free-living physical activity. *Obes Res* 11, 865-868, 2003
- 35) Zhang JG, Ohta T, Ishikawa-Takata K, Tabata I & Miyashita M: Effects of daily activity recorded by pedometer on peak oxygen consumption (VO₂peak), ventilatory threshold and leg extension power in 30- to 69-year-old Japanese without exercise habit. *Eur J Appl Physiol* 90, 109-113, 2003
- 36) 運動所要量・運動指針の策定検討会: 健康づくりのための運動基準2006 — 身体活動・運動・体力 — 報告書, 2006
- 37) 運動所要量・運動指針の策定検討会: 健康づくりのための運動指針2006 — 生活習慣病予防のために — エクササイズガイド2006, 2006
- 38) 厚生科学審議会地域保健健康増進栄養部会: 「健康日本21」中間評価報告書, 2007
- 39) 日本工業標準調査会. 歩数計. *JIS S-7200*, 1993
- 40) 樋口博之, 綾部誠也, 進藤宗洋, 吉武裕, 田中宏暁. 加速度センサーを内蔵した歩数計による若年者と高齢者の日常身体活動量の比較. *体力科学* 52 : 111-118, 2003

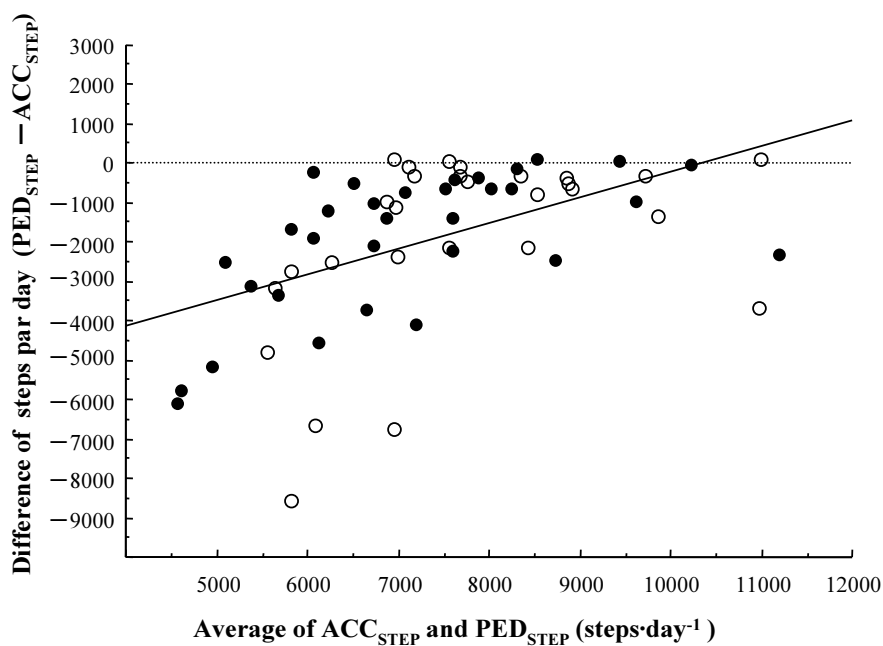


Figure 1. Difference between the number of daily steps estimated by the Yamax pedometer (PED_{STEP}) and that measured by the accelerometer (ACC_{STEP} ; y axis), plotted against the mean steps per day of the two methods (x axis; $n=60$: male=closed circles; female=open circles). The pedometer determined step counts was significantly lower than that based on accelerometer (-1888 ± 2016 steps \cdot day $^{-1}$, range - 8555 to 133), and an important bias was found below approximately 7,000 steps per day ($r=0.508$, $p<0.001$).

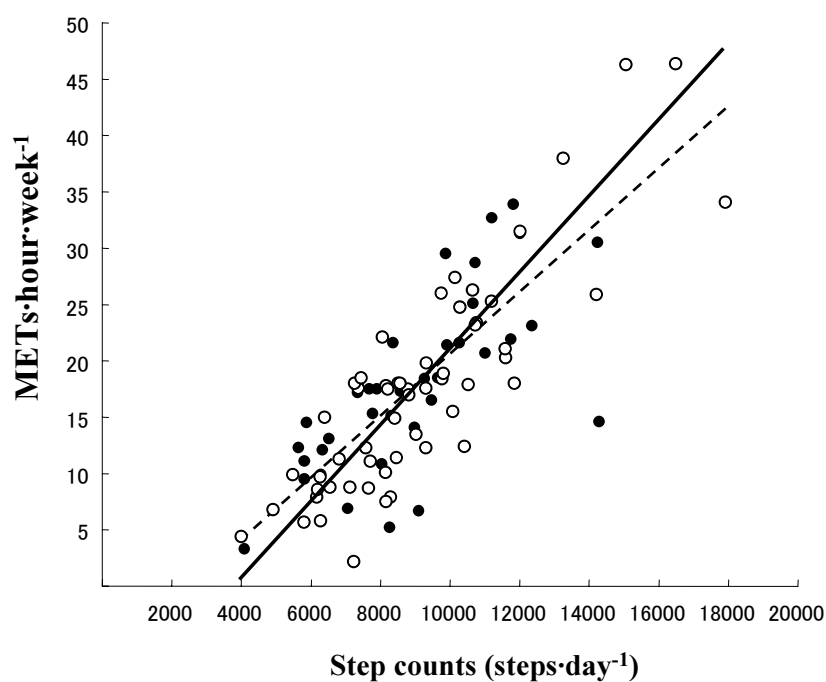


Figure 2. Relationship between the number of daily steps measured by the accelerometer (ACC_{STEP} : steps \cdot day $^{-1}$) and the volume of physical activity in METs \cdot hour \cdot week $^{-1}$ ($n=92$; male=closed circles; female=open circles). There was a significant correlation between both indices (dotted line: $r=0.810$, $p<0.001$). The bold line represents a geometric mean regression: $y=0.0034x - 13.06$.

(平成20年3月17日受理)