

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：32714

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00853

研究課題名(和文)腕時計型ストレス・カロリー計の開発 若年者、中高年者、高齢者への応用

研究課題名(英文) Development of a wristwatch-type stress calorie meter and its application in young, middle-aged, and elderly people

研究代表者

澤井 明香 (Asuka, Sawai)

神奈川工科大学・応用バイオ科学部・准教授

研究者番号：00454330

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：ストレス・カロリー計は生活習慣や生活時間を可視化し客観評価するために開発された。また当機では脈拍と加速度と睡眠時基底心拍数より換算してエネルギー消費量も得られる。本研究では当機の年代別のエネルギー消費量の精度や最適換算係数、日常生活への応用法を検討した。被験者(19～75歳)約90名は当機と精密代謝測定器を同時装着し統一活動で得た両者の測定値を照合された。年代やBMIで換算式の係数の細分化によりさらに精度が高まった。運動経験の係数化には課題が残るが、全体として当機は個別対応可能なツールに成り得ると推察された。また当機使用で得たストレス、運動、睡眠時間と生活習慣病指標との関係を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：The stress-calorie monitor allows visualization of lifestyle habits and energy expenditure as measured by pulse rate, acceleration, and basal heart rate calculated during sleep. In this study, to enable individual interaction with this monitor, we examined the accuracy and optimal conversion factor at every life stage and its application to daily life. About 90 19-75-year-old subjects wore the monitor together with a precise metabolic measurement instrument. Then, measurement values obtained during various activities were compared with those of the metabolic measuring instrument. Accuracy was further increased by subdividing the coefficients of the conversion formula by age or BMI. Although challenges remain regarding the factor of exercise experience, overall, the monitor was presumed to be a tool that the subjects could use individually. Moreover, we could show the relationship between stress, exercise, sleeping time and lifestyle disease indicators obtained by using this monitor.

研究分野：臨床栄養学

キーワード：ストレス カロリー 心拍 睡眠 生活習慣 可視化 精神 身体

1. 研究開始当初の背景

生活習慣病の予防および治療の保健・栄養指導では、エネルギー（カロリー）出納（摂取量と消費量）の是正に主眼がおかれる。近年、エネルギー摂取量の評価は、食事調査や施設の献立表、食事の映像や専門業種より情報を得て、ある程度客観評価が可能となりつつある。一方、消費量の評価は、対象者の自己申告や観察記録、歩数計を用いる場合が多く、心拍計や加速度計を利用してその精度は良好なものとは言い難かった。

既存の携帯型カロリー計の精度の改善の方策の1つは、日本人の生活実態に見合う換算式を使用することであると我々は考えている。一日の生活は睡眠・精神活動・身体活動に大別され、現代の日本人の生活は、睡眠が一日の約1/4、次に精神活動、身体活動の順に多い。しかしながら、精神活動の心拍変動については、機械上は計測できても、その客観評価が難しかったため、既存の計測器は、身体活動時の心拍変動を利用したエネルギー摂取量の換算式が、精神活動時の評価にも使用されてきた。このことは精神活動が比較的多い日本人の生活実態に適するとは言い難く、また、一日の消費カロリーの評価は、身体活動の他に、精神（ストレス）状態や睡眠、食事時間の評価も不可欠のため、当装置の開発とさらなる精度の向上、そして様々な年代に併せた対応が必要と考える。

2. 研究の目的

我々は、心拍数と加速度から消費カロリーを算出する際に、精神活動時と身体活動時で換算係数を分けて評価することを考案し、24時間の消費カロリーが、ある程度の精度を保ち簡易に評価可能な「腕時計型ストレス・カロリー計」をセイコーエプソン社と共同開発した。本研究では、この装置が保健指導のツールとして適切であるか、特に個人指導の際に個別対応し得るかについて、様々な年代や条件の対象者に実施して検証することを目的とした。また、個人対応が思わしくない場合には、消費エネルギー（脈拍と加速度の変動から換算）を算出する際の、換算係数の改善も検討することを目的とした。

3. 研究の方法

若年者、中高年者、高齢者を対象として、開発品（ストレス・カロリー計）と携帯型心電計あるいは精密代謝器を同時装着し、24時間測定と規定活動測定：一律に準備された負荷活動（精神活動負荷、身体活動負荷）を実施し、得られた測定値がどのような関係にあるのか、照合した。さらに対象者に可能な限り個別対応させるために（性別・年齢・健康状態）により、精度に違い生じた場合には、対象者ごとの換算係数を算出して、より高い精度を持つ、ストレス・カロリー計の調整を目指した。また当装置を使用した保健指導についても、装置から得たデータと生活習

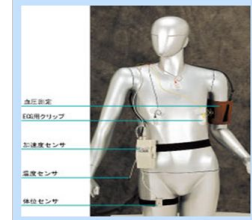
慣病関連の検査値との関係を調べた。

（1）ストレス・カロリー計に精度と換算式の改善について

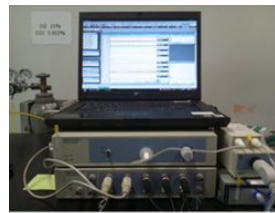
対象者：若年、中高年、高齢の各群約30例
装置：ストレス・カロリー計（PULSENSE）
24時間携帯型血圧心電計（TM2425-ECG）
呼吸代謝測定機（Power Lab；V02000）



ストレス・カロリー計



24時間携帯型血圧心電計



呼吸代謝測定機



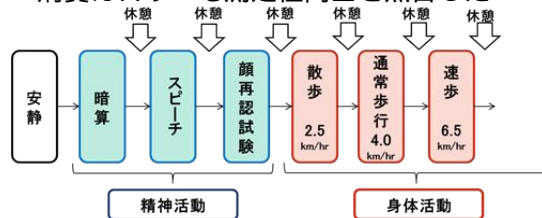
運動用トレッドミル

1)24時間測定：

- ・心拍数や加速度は測定値同士を照合した
- ・消費カロリーは、精密代謝器の24時間装着は測定が困難なため、被験者の行動記録表からMetsで算出したものを比較した

2)規定活動測定：安静、精神活動負荷（暗算、人前スピーチ、顔認知）、身体活動負荷（散歩2.5km/hr、通常歩行4.0km/hr、速歩6.5km/hr、（ジョギング7.5km/hr）

- ・心拍数や加速度の測定値同士を照合した
- ・消費カロリーも測定値同士を照合した



（図 身体活動負荷プロトコル）

統計解析：

以下の換算式の係数Xに該当する変数を代入し、当式を用いて換算した消費カロリーと既成の精密呼吸代謝測定機から得た消費カロリーの相関を調べ、最も高い相関係数を得た係数を最適係数とした。換算式の構築は専用ソフト（アイテクノ社製）を用いて実施した。なお当機に内蔵された既定係数は、 $X1(\text{体動}) = 3.12$ 、 $X2(\text{非体動}) = 1.5$ である。

ストレス・カロリー計の測定原理

$$EE = EE_0 + (X) \times EE_0 \times (\Delta HR / HR_0)$$

分時エネルギー消費量：EE

分時基底エネルギー消費量（分時基礎代謝量）：EE₀

体動係数：X 心拍数：HR 基底心拍数：HR₀

(2) 当装置を用いた保健指導について

勤労者 100 名を対象者に、当装置を用いて日常生活を観察した。当装置から得た各種生活活動時間および消費エネルギーと特定保健指導の検査項目とを比較した。

中高年の生活習慣病予備群 30 名に対して、当装置を使用して毎月 1 回保健指導を施行し、これを 3 か月間実施した。

32 名の高齢者に対して当装置を用いて保健指導を施行し、簡易介護予防指標や生活習慣病関連検査項目と比較した。

4. 研究成果

(1) ストレス・カロリー計の精度と換算式の改善について

1) 年代別の適応活動負荷による検討

・若年者

開発品と 24 時間携帯型血圧心電計より得た心拍数は $r = 0.98$ の極めて高い有意相関を示した。呼吸代謝測定機との消費カロリーの相関は、 X_1 (体動) = 4.2, X_2 (非体動) = 1.6 が最適係数となり、全活動で $r = 0.89$ 、精神活動が $r = 0.39$ 、身体活動が $r = 0.77$ であり、いずれも有意相関を示した ($p < 0.05$)。当成果は英文誌に報告した (論文 9)。

・中高年者

開発品と呼吸代謝測定機との消費カロリーの相関は、 $X_1 = 3.12$ 、 $X_2 = 1.37$ の時が最適係数となり、全活動で $r = 0.78$ 、精神活動が $r = 0.55$ 、身体活動が $r = 0.86$ となり、いずれも有意相関を示した ($p < 0.05$)。さらに体重別で 2 群に分けると、標準体重群 (20 例) は $X_1 = 4.0$ 、 $X_2 = 1.5$ が最適値となり、全活動 $r = 0.88$ 、精神活動 $r = 0.57$ 、身体活動 $r = 0.85$ となった。肥満群 (10 例) では、 $X_1 = 2.5$ 、 $X_2 = 1.0$ が最適値となり、全活動は $r = 0.89$ 、精神活動 $r = 0.51$ 、身体活動 $r = 0.86$ となった。成果は英文誌に採択され印刷中である (論文 1)。

・高齢者

主に被験者の体力の問題と研究所要時間の調整のため、若年や中高年の例で精神負荷は、どれも殆ど類似した結果であった精神負荷は暗算のみとし、身体負荷は散歩歩行、通常歩行として実験をおこなった。既定値である $X_1 = 3.12$ 、 $X_2 = 1.5$ が最適値となり、全活動で $r = 0.89$ 、精神活動で $r = 0.6$ 、身体活動で $r = 0.59$ となり、若年や中高年よりも精神活動の相関が高くなり、身体活動の相関は低くなった。

2) 全年齢層を統一負荷で比較した精度

高齢者の体力や測定項目に若年者や中高年を併せた全年代層の比較 安静、暗算、散歩歩行 (散歩)、通常歩行 (歩行) のみを抽出した全員の比較 -

・既定値における精度と調整

1) 年代別の精度について

全体の精度は、全活動は $r = 0.75$ 、精神活動は $r = 0.63$ 、身体活動は $r = 0.72$ となり高い有

意相関を示した。若年層は全体で $r = 0.67$ 、精神活動 $r = 0.36$ 、身体活動 $r = 0.63$ の有意相関を示した。しかし詳細分析では、身体活動時の散歩と歩行のみの比較での相関は極めて低いものがみられた ($r = 0.02$)。中高年者は、全体では $r = 0.72$ 、精神活動は $r = 0.57$ 、身体活動は $r = 0.68$ の有意相関を示したが、詳細をみると散歩と歩行では $r = 0.22$ と低い相関となった。高齢層の結果は (1) で述べたとおり、既定で最適値となり、相関も高かった。

・若年層と中高年層の追加分析について。相関の低かった散歩と歩行について、若年層を運動習慣のない標準体格者 (10 名) のみで再施行したところ、 $X_1 = 2.9$ 、 $X_2 = 1.4$ の時に精神活動 $r = 0.67$ 、身体活動 $r = 0.66$ の高い有意相関を得た。なお運動習慣を持つもの (10 名) は、最適係数を求めることはできなかった。中高年層は、肥満者 (9 名) $X_1 = 1.6$ 、 $X_2 = 1.4$ の時に最適となり、身体活動 $r = 0.75$ の高い有意相関を得た。また、標準体格者は、55 歳未満と以上で係数を変えると、55 歳未満では身体活動 $r = 0.88$ 、55 歳以上では $r = 0.72$ の高い有意相関を得た。

2) BMI 別の精度と調整について

以下のように BMI 別はいずれも高い有意相関を示した。係数の見直しによりさらに精度の上昇したものについては、() でその精度の向上を示した。

やせ (5 名): 全活動 $r = 0.94$ 、精神活動 $r = 0.86$ 、身体活動 $r = 0.89$ の高い有意相関を示した。

標準体型 (44 名): 全活動 $r = 0.75$ 、精神活動 $r = 0.57$ 、身体活動 $r = 0.73$ の高い有意相関を示した 肥満体系 (18 名): 全活動 $r = 0.83$ 、精神活動 $r = 0.68$ (0.72)、身体活動 $r = 0.81$ となった。

以上より、ストレス・カロリー計は、総じて換算係数の既定値で良い精度を示しており、集団指導には充分適応すると考える。また精神活動時の係数については、最適値を考慮してもその変動差は少ないため、既定値の使用で特に問題はなく、集団および個人別の指導においても適すると考える。

身体活動も、中高年や高齢者は良好な成績を示しているため、当機の利用が生活習慣病や介護予防の対策として今後発展する可能性がある。なお個人の身体活動をさらに詳細に観察するためには、中高年は少なくとも 2 群 (55 歳未満と以上) で係数を分けた方が、より詳細な分析結果を得られる可能性がある。体型別比較では、全体としてはどの群もある程度の精度を維持できていた。個別比較では軽い身体活動 (今回の場合は散歩と歩行) では標準体型であっても差が生じているため、これは加齢による体力の差がみられたものと推察された。

一方で、当研究で新たに観察された事象として、若年層では軽度の身体活動には個人差

が大きく生じており、運動経験による係数の見直しや、換算式の項目の追加が必要である可能性が示された。特に運動経験者は軽運動時の心拍の変動が少なく、他方精密代謝器は呼気分析結果に基づくため、両者の代謝値に複雑な関係がみられたと考える。これは若年者にとって極めて負荷の弱い運動の場合の例であり、同様の理屈を考慮すれば、負荷の強い運動においても、体力差が見られると推察される。しかしながら当検査では安全を優先しており、高齢者では通常歩行以上の負荷をかけていないため、詳細な情報は得られていない。当成果は2018年6月に日本健康栄養システム学会にて発表を予定している。

(2) 当装置の日常生活における応用法

1) 生活習慣病のリスクの判定と保健指導

当装置から得た消費エネルギーは、腹囲、SBP/DBP,AST,ART, GTP,LDL/HDLに有意相関した。精神ストレス時間は深睡眠時間に負相関がみられた。成果は2016年の臨床栄養学会にて発表した。

HbA1c,ALT, GTP, Alb, 血圧値が有意に低下し、消費エネルギーは有意に上昇した。当成果は2015年の臨床栄養学会にて報告した。

2) 生活習慣病や介護のリスクの判定と保健指導

32名の高齢者が開始当初は測定に従事したが、途中脱落者がみられ最終的に22名の解析となった。測定の成果としては、介入前後で腹囲、下肢筋力、SBP、深睡眠時間に有意な改善がみられた。脱落者に関しては、全被験者の1/3生じており、主に装置の不適切な使用によるデータの未収集が原因であった。装置の使用法は、事前に十分に行ったと我々は考えていたが、中高年被験者に比べると、家庭生活において装置の使用の理解が難しいと思われるケースが生じた。先の精度検定の結果からは高齢者の計測は、精度としては十分可能な事ではあるが、個別の使用については、家庭内において高齢者が独りで間違いなく装置を使用し得るように、詳細な指導や遠隔によるフォローが必要であると推察された。当成果は2017年の日本臨床栄養学会にて報告した。

・まとめ

以上より当装置は、生活活動時間を可視化でき、換算されたエネルギー消費量も全体ではある程度高い精度を有するため、日常生活活動を客観視し健康管理に役立てるツールとなり得ると考える。

当装置での消費エネルギー量の換算の詳細は、精神活動時の係数は年齢や体格で大きな差はみられないため、既定値で適応可能と考える。身体活動は、生活習慣病や介護予防で対象となる年代であり、精神活動や軽い身体活動を中心とした生活をしている人物については、内蔵係数で適応可能と考える。体力により個人差が生じるもの、例えば若年で激しい運動習慣を持つ者の軽い身体活動や、

体力の減退した55歳以上の年配者での中等度以上の強い身体活動では、心拍数の上昇に個人差が生じるため、換算係数を個別対応した方がより精度の高い測定が行えると考えられる。装置を利用した保健指導では、高齢者は装置の使用に関する詳細な指導が必要であるが、全体としては各種検査値に対して良好な影響を与えた。

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計13件)

- 1) Sawai A, Igarashi R, Saitou M, Enami N, Sawai S, Fujikawa T, Takahashi K, Tochikubo O. Relationship between the risk of metabolic syndrome and the lifestyle index measured by the PULSENSER wristwatch-type stress-calorie monitor in middle-aged subjects. *Gazzetta Medica Italiana Archivio per le Scienze Mediche*, in press.
- 2) 宮野博、渭原博、橋詰直孝、廣田晃一、桑克彦、市原清志、安東敏彦、門脇基二、遠藤文夫、朽久保修: 日本臨床化学会栄養専門委員会血漿アミノ酸濃度の基準範囲設定プロジェクト; 「血漿アミノ酸濃度の基準範囲設定」に関する見解、臨床化学、47: 64-73, 2018。(第47巻第1号2018年1月)
- 3) 高橋勝美, 小川喜道, 野口理紗, 谷代一哉, 半田仁. 高齢者向け下肢筋力低下予防を目的とした遊具の開発, 体育研究, 51: 1-10, 2018.3.
- 4) Kobayashi Y, Fujikawa T, Kobayashi H, Sumida K, Suzuki S, Kagimoto M, Okuyama Y, Ehara Y, Katsumata M, Fujita M, Fujiwara A, Saka S, Yatsu K, Hashimoto T, Kuji T, Hirawa N, Toya Y, Yasuda G, Umemura S. Relationship between Arterial Stiffness and Blood Pressure Drop During the Sit-to-stand Test in Patients with Diabetes Mellitus. *J Atheroscler Thromb.*: 24: 147-156, 2017.
- 5) Aoki H, Demura S, Ohno M. Eyes open/closed conditions and age-level differences in foot pressure during stepping with a stipulated tempo. *AJSSM (American Journal of Sports Science and Medicine)*, 5(1), 1-4, 2017.
- 6) Kobayashi Y, Fujikawa T, Kobayashi H, Sumida K, Suzuki S, Kagimoto M, Okuyama Y, Ehara Y, Katsumata M, Fujita M, Fujiwara A, Saka S, Yatsu K, Hashimoto T, Kuji T, Hirawa N, Toya Y, Yasuda G, Umemura S. Relationship between Arterial Stiffness and Blood Pressure Drop During the Sit-to-stand Test in Patients with Diabetes Mellitus. *J Atheroscler Thromb.* 24 (2): 147-156, 2017.
- 7) 朽久保修: 「予防医学」第59号 特集「地域保健の新しい潮流と今後の課題」(「かながわME-BYO見える化センター」とその展望)2017年12月号P.73~82
- 8) 朽久保修: 「生体データ活用の最前線~スマートセンシングによる生体情報計測とその応用

～」サイエンス&テクノロジー社、2017.6...共著

- 9) Sawai A, Fujii H, Sato Y, Takuma A, Utsumi M, Sawai S, Ohno M, Tochikubo O. Development of wristwatch-type stress-calorie monitor and its wireless communication management system. Gazzetta Medica Italiana Archivio per le Scienze Mediche. 175 : 442-451, 2016.
- 10) Shin S, Demura S, Ohno M. The superiority or inferiority of balancing ability effect on stepping over an obstacle in the elderly. The Korean Journal of Growth and Development. 24(3), 233-239, 2016.
- 11) Tochikubo O, Nakamura H, Jinzu H, Nagao K, Yoshida H, Kageyama N, Miyano H: Weight loss is associated with plasma free amino acid alterations in subjects with metabolic syndrome. Nutrition & Diabetes, 1-7, 2016.
- 12) 内藤孝雄, 朽久保修: 立位姿勢バランス評価システムの提案 ロコモティブシンドローム早期発見のための試み : IEICE Technical Report : 信学技報 115(414), 187-192, 2016.
- 13) Wakui H, Uneda K, Tamura K, Ohsawa M, Azushima K, Kobayashi R, Ohki K, Dejima T, Kanaoka T, Tsurumi-Ikeya Y, Matsuda M, Haruhara K, Nishiyama A, Yabana M, Fujikawa T, Yamashita A, Umemura S. Renal tubule angiotensin II type 1 receptor-associated protein promotes natriuresis and inhibits salt-sensitive blood pressure elevation. J Am Heart Assoc.;4(3):e001594. 2015

〔学会発表〕(計 12 件)

- 1) 渡邊海斗, 澤井明香, 鈴木優歩, 豊本みなみ, 朽久保修. 健康腕時計の年代および体格別の消費エネルギーの換算係数の検討, 第 18 回日本健康・栄養システム学会, 神奈川県立保健福祉大学, 2018-06.
- 2) 遠藤真柚, 澤井明香, 朽久保修. 健康腕時計および自記式記録を用いた高齢者の生活習慣の評価と保健指導, 第 64 回 日本栄養改善学会(徳島アスティ), 2017-09.
- 3) 澤井明香, 遠藤真柚, 今井愛, 朽久保修. 健康腕時計を用いた高齢者のライフスタイルの評価と健康指標の関係性の検討. 第 64 回日本栄養改善学会大会(徳島アスティ), 2017-09.
- 4) 半田 仁, 高橋 勝美, 山本 圭治郎, 谷代 一哉. パワーアシストハンドおよびレッグの実用化の検証, Dynamics and Design Conference, USB 論文集, 602, 2017.
- 5) 山本圭治郎, 佐藤 武, 石井峰雄, 茂垣知江, 高橋真紀子, 高橋勝美. 空気圧ペローズアクチュエータによるパワーアシストスーツの開発, Dynamics and Design Conference, USB 論文集 601, 2017.
- 6) 澤井明香, 齊藤美友, 朽久保修. 中高年に対応した腕時計型ストレス・カロリー計の精度の検討, 第 71 回日本栄養食糧学会大会, 沖縄, 2017-05.

- 7) Kobayashi Y, Kobayashi H, Ishiguro H, Yatsu K, Fujikawa T, Umemura S. Thickness of the Carotid Bulb is Associated 2016, The 26th Scientific meeting of the International Society, Seoul, 2016-10.
- 8) 五十嵐梨乃, 澤井明香, 朽久保修. 健康腕時計を用いた身体活動と生活習慣病発症リスクの検討, 第 38 回日本臨床栄養学会総会, 大阪, 2016-10.
- 9) 半田仁, 石井峰雄, 石川由美, 山下俊紀, 谷代一哉, 高橋勝美, 山本圭治郎. パワーアシストハンドおよびレッグの開発とリハビリ効果の検証, Dynamics and Design Conference 2016, USB 論文集 519, 2016.
- 10) 大野政人. スポーツが学生の精神的ストレスに及ぼす影響, 日本発育発達学会・日本教育医学会地方月例研究会第 30 回記念大会, 岐阜, 2016-02.
- 11) 林優希, 澤井明香, 朽久保修. アミノ酸解析技術と腕時計型ストレス・カロリー計を用いた臨床栄養管理の検討 2015. 第 37 回 日本臨床栄養学会総会, 東京都都市センターホテル, 2015-10.
- 12) 澤井明香, 内海杜野, 朽久保修, 腕時計型ストレス・カロリー計の臨床現場における応用法の検討第 15 回 日本健康栄養システム学会大会, 女子栄養大学駒込キャンパス, 2015-06.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

澤井明香 (ASUKA SAWAI)

神奈川工科大学・応用バイオ科学部・准教授

研究者番号: 00454330

(2) 研究分担者

朽久保修 (OSAMU TOCHIKUBO)

横浜市立大学・医学部・特任教授

研究者番号: 30046099

高橋勝美 (KATSUMI TAKAHASHI)

神奈川工科大学・創造工学部・教授

研究者番号: 30267637

大野政人 (MASATO OHNO)

米子工業高等専門学校・教養教育科・准教授、

研究者番号: 70464526

藤川哲也 (TETSUYA FUJIKAWA)

横浜国立大学・保健管理センター・准教授

研究者番号: 80406264

(3) 連携研究者 なし

(4) 研究協力者 なし