

平成22年 6月21日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19500543

研究課題名（和文） 3次元加速度計測による携帯式身体活動量連続記録装置の開発

研究課題名（英文） Development of an ambulatory continuous recorder of physical activities in quantity with three dimensional acceleration measurement

研究代表者

松原 周信（MATSUBARA CHIKANOBU）

京都府立大学・生命環境科学研究科・研究員

研究者番号：20121767

研究成果の概要：

出力電圧が入力加速度に比例し、かつ出力が飽和することのないレンジを有する3次元加速度センサを搭載し、1分等の一定時間ごと一昼夜以上にわたって、歩行ならびに走行別の歩数、両動作別合計時間、および、両動作別加速度波形全波整流積分値をメモリICに記録し、エネルギー消費量を推定する携帯式の装置を試作した。その結果、これまで使用されてきた類似の装置と比較し、エネルギー消費量の推定精度を高めることができた。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,400,000	420,000	1,820,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康スポーツ科学・スポーツ科学 A

キーワード：加速度 身体活動量 記録装置

1. 研究開始当初の背景

近年、生活環境全般にわたる機械化によって、一般に身体活動量が低下し、肥満や生活習慣病などの弊害もたらされやすくなっており、また、心筋梗塞、糖尿病をはじめ、種々の疾患について、運動療法の効果が重視されてきている。その際、的確な運動処方を提示する必要性が生じるが、そのためにはまず個々の日常生活における運動強度と身体活動量の測定が必要であり、処方された結果を評価するための測定もまた必要である。

そのような目的のために、携帯式の装置を用い、身体重心付近の加速度を測定して

身体活動量、ないしはエネルギー消費量を推定する試みは、1980年前後より多数なされてきた。さらに、そのための装置が何種類か市販され、そのうち鉛直方向1軸を計測する「Caltrac accelerometer」と、直交する3軸を計測する「Tritrac-R3D」が、広く用いられてきた。我が国においても、鉛直方向1軸を計測するスズケン「Kenzo カロリーカウンタ Select2」、オムロン「カロリー測定器 カロリープラン HF-100、スリムステップ HF-200」、およびスズケン「ライフコーダ」が市販され、今も使用されている。

また、これらの装置を評価する研究も多

数なされているが、それらの結論はおおむね、これらの装置は一定程度役に立つが、必ずしも完全なものではないとしている。すなわち、1990年代頃に開発され評価された装置は、単に身体活動量の「計測ができる」にとどまり、センサおよび組み込まれたソフトウェアが、今日の目から見ればきわめて貧弱であった。これに対し、本研究計画による装置が完成すれば、従来の装置による欠点が一挙に払拭されることとなる。

2. 研究の目的

身体活動量を知るためには、心拍数あるいは歩数などを測定する方法もあるが、簡便さと精度の両立が可能なのは、身体重心の加速度を計測する方法である。しかし、現在市販または試作されている装置は、十分な精度を有してはいない。それゆえ、身体に装着し、鉛直、前後、および左右3軸の加速度を計測することにより、身体活動量を一昼夜以上にわたって連続的に測定し、これを1分ごと等の時系列データとして記録し、得られたデータをもとにエネルギー消費量を高精度に推定することのできる、携帯的で安価な装置を開発する。

本研究によって開発される記録装置は、1分（あるいはその他設定された時間）ごとのデータを約34時間以上にわたって測定し、時系列データとして記録することができるものとする。測定終了後、装置に収録したデータはホストコンピュータ（パーソナルコンピュータ）に伝送し、1分ごと等のエネルギー消費量を計算する。そのためには、それに応じたソフトウェアが必要である。それゆえ、被験者にトレッドミル上、あるいはその他の方法で身体活動を行わせ、加速度、速度、変位、歩数等と、エネルギー消費量相互の関係を明らかにし、これをもとにして必要とされるソフトウェアを開発して、記録装置が量産に移れる態勢を整える。

なお、これまでの市販の装置の加速度センサは、原理的にレコードプレーヤ用のフォノカートリッジに手を加えたものと思われる、その場合身体の加速度の絶対的な値を測定することはできない。これに対し、本研究における記録装置は、出力電圧が入力加速度に正比例（200mV/g）するセンサを用い、この出力をハードウェアならびにソフトウェアによって演算処理した結果を記録するので、プログラム次第で身体活動による物理的仕事量等の絶対的な値を、3軸それぞれの成分ごとに測定することもできる。また、加速度波形から歩行あるいは走行等の動作が行われたことを検出し、その際の動作を加速度の積分値として

記録することも可能である。なお、市販の「Tritrac-R3D」などこれまでの3軸の加速度を測定する装置においては、3軸の出力を同じ重み付けで一括して演算処理しているが、本研究において開発する装置については、エネルギー消費量に寄与する重みを3軸別々に付与し、あるいは鉛直軸等に関し、身体の運動エネルギーと位置エネルギーそれぞれについて計算を行うことも可能である。これら種々の方法が、エネルギー消費量の推定精度を高めるためにどの程度寄与するか、採用するに値するだけの寄与が見込まれるとすれば、具体的にどのような処理を施せばよいかを検討し明らかにする。

また、たとえばスズケン「ライフコーダ」においては、1分間の加速度波形の振幅の最大値を、その1分間の身体活動量の評価に用いている。したがって、その1分間に1秒間でも大きな加速度が生じれば、残りの59秒間安静にしているも、大きな身体活動量として記録される。これに対し、本研究によって開発される記録装置では、加速度を常時モニタして演算処理すると同時に、歩行や走行によって生じる衝撃加速度のピークからピークまでの時間を常に観察することにより、単に1分あたりの身体活動量を記録するだけでなく、1分間のうちに体を動かした時間と動かさなかった時間がある場合には、それぞれ別々にエネルギー消費量を算出することができるようにする。さらに、同じ1分間でも、終始歩いた場合と、一定時間座位で残りの時間走った場合など、加速度の全波整流積分値あるいはRMS値が同じであっても区別して計算する。これらの措置を講じエネルギー消費量推定の精度を向上させることのできるハードウェア構成、ならびにそのための具体的なデータ処理方法について検討し、この目的にかなうソフトウェアを組み込んだ装置を開発する。

3. 研究の方法

まず、腰部のベルトなどに取り付けることのできる、有線式3軸加速度計を製作した。使用したデバイスや電子回路は、以前に製作しその後使用してきた心拍数、歩数、および身体活動量記録装置（松原周信 平成7年度科学研究費補助金（試験研究B2）研究成果報告書）の1軸加速度センサICを、最新の3軸センサに変更したものをととした。

これを用い、次のような計測システムを組み立てた。すなわち、トレッドミル（日本光電 STM-1500）を、パーソナルコンピュータを介して制御し、また、製作した3軸加速度計の出力をA-D変換すると同時に、

呼吸分析装置（ミナト医科 MG-360, RM-300）からのデータをパーソナルコンピュータに入力した。さらに、高速ビデオカメラ（菱光社 HAS-200R）ならびにマルチシンク画像キャプチャカード（DITECT HAS-PCI）と3次元運動解析ソフト（DITECT DIPP-MotionXD）を使用し、トレッドミル上における被験者の身体重心などの3次元における測定を可能とした。また、時間分解能は高くなくても長時間にわたる撮影を必要とする場合には民生用ビデオカメラを使用することができるよう、シングルチップマイクロコンピュータ（Microchip PIC12F683）を搭載し、加速度計とビデオカメラのための同期信号として、電気的パルスの発生と同時にLEDを点滅させる装置を製作した。さらに、以上の計測システムのため、パーソナルコンピュータ用の統合ソフトウェアを完成させた。

つぎに、完成させた計測システムのトレッドミル上で、被験者に1 km/h から各種の速さで歩行および走行を行わせ、3軸加速度計の出力データを収集した。歩行、走行中の、3軸加速度計から求めた加速度波形と、ビデオカメラから求めた値を比較検討し、これら相互の関係を明らかにして、記録装置に使用する加速度センサの、人体に装着した場合の特性を精査し、さらに、その他の身体活動も含め、加速度、加速度の全波整流積分値およびRMS値、速度、変位、および波形から得られる歩数や一步時間の変化をはじめとする情報と、エネルギー消費量の関係を明らかにすることを試みた。

その結果、安静、歩行、走行別にデータ処理を行うことで、（一日の生活パターンによって処理の寄与に差異は存するものの、総じて）エネルギー消費量の推定精度をかなりの程度高められることが判明した。そこで、その他のデータ処理方法については、今後さらに検討を重ねることとし、まずは3軸の加速度を合成した上、3種類の身体活動水準別に記録することを基本とした装置を製作することとした。

以上の検討作業をもとに、ソフトウェアの変更のみによりその他のデータ処理方法をも採用する可能性を保持する前提のもと、ハードウェアとソフトウェアにゆだねる機能を決定し、回路図エディタ（PADS Power Logic）を用いて記録装置のハードウェアの設計を進め、プリント基板設計用ソフトウェア（PADS Power PCB）によってガーバデータを作成した。さらに、フライス加工によるプリント基板製作装置（ミツ Seven-Mini）等を使用し、記録装置を製作した。

これと併行し、記録装置に収録したデータを読み出し、パーソナルコンピュータに入力するためのインタフェース装置を製作した。この装置にはCPUは搭載せず、記録装置の出力する赤外線RS-232Cレベルの電気信号に変換する機能のみを有するものとした。

ついで、記録装置のソフトウェアについて検討し、アセンブラ（Microchip MPASM）を使用してソフトウェアを機械語で記述した上、ROMライター（Microchip ICD2）を用いて装置のシングルチップマイクロコンピュータに書き込んだ上、実際の測定を繰り返し、修正を重ねた。さらに、パーソナルコンピュータのためのソフトウェア、すなわち、記録装置から読み出しインタフェースを介してデータを受け取り、エネルギー消費量を計算するためのプログラムを記述した。

なお、記録装置の製作全般にわたり、すべて本研究代表者の手許で行ない、信頼性の確保、期間の短縮、経費の大幅な節減をはかった。

4. 研究成果

出力電圧が入力加速度に正比例し、かつ本研究目的で使用する限り出力が飽和することのないレンジを有する3次元加速度センサ（Freescale MMA7361L）を搭載し、シングルチップマイクロコンピュータ

（Microchip PIC16F88）を用いて、一定時間（1分等に設定可能）ごと一昼夜以上にわたり、歩行ならびに走行別の歩数、両動作別合計時間、および、両動作別加速度波形全波整流積分値をメモリIC

（Microchip 24FC1025）に記録し、エネルギー消費量を推定する携帯式の装置を製作した。

この装置は58mm×18mm×95mmのケースに納めたが、同等機能で小型のパーツを使用し、さらに小型にすることもできる。また、プリント基板のパターンは、プリント基板設計用ソフトウェアを使用しガーバデータ化して、そのままプリント基板製作機に入力可能とした。そのため、製品として発売する場合、経費がきわめて低廉なものとなる。（小型のパーツを使用する場合は形状の指定を変更すればよく、回路図までさかのぼる必要はない。）

なお、歩行、走行にともなう着地の検出においては、ソフトウェアにより一回の着地で2重、3重にカウントすることを防ぐとともに、身体の移動速度が大きくなり従って着地の時間間隔が短くなる（このとき、着地の衝撃は大きくなる）につれ、着地を検出する加速度のスレッシュホールドレベルを高くし、これによって着地の衝撃が小

さくても大きくても、着地を正しく検出できるようにした。また、被験者にトレッドミル上で、時速1～6 kmの歩行、6～10kmの走行を行わせ、加速度の全波整流積分値とエネルギー消費量の関係を求めたところ、両者は歩行と走行で異なる2本の曲線によって近似された。そこで、着地による衝撃によって発生する加速度波形のほか、滞空期の有無による重力変化の差異をも考慮して歩行と走行を判別し、一定時間ごと、加速度を一步ごと両動作いずれかに積分し、同時に両者の一步時間をもそれぞれ合計（残りの時間は安静）した時系列データをもとに、エネルギー消費量を計算した。

このことにより、これまで使用されてきた類似の装置と比較し、エネルギー消費量の推定精度を高めることができ、少なくとも一般に知られている範囲では、現時点において国内外を通じ最高の精度を有する装置が完成し、広く社会に貢献をなすことが可能となった。なお、本研究の途上で検討を重ねたものの、時間的制約等のため今回採用するに至らなかったデータ処理方法のうちいくつかを追加したソフトウェアを用いることにより、さらに推定精度を改善する可能性が残されていると考えられる。

あわせて、一連の研究のために開発した加速度の測定およびデータ処理方法を、ドラム演奏あるいは野球のバッティング動作などの動作分析に応用すれば、ビデオ撮影だけでは不可能な分析が可能となることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計1件）

① Kenji Nishimura and Chikanobu Matsubara Characteristics of the stickwork structure during snare drumming Sci. Rep. Kyoto Pref. Univ., Hum. Env. & Agr. 59 1-9 2007 査読無

〔学会発表〕（計3件）

① 松原周信、西村健次 ドラム演奏におけるスティックワークの構造 日本体育学会第60回大会 2009年8月26日 広島大学（広島県）

② 松原周信 時系列画像、加速度、角速度の測定から見た、野球におけるバッティング動作の構造 日本体育学会第59回大会 2008年9月12日 早稲田大学（東京都）

③ 松原周信 民生用ビデオカメラによる3次元動作分析用、同期信号発生装置の

試作 日本体育学会第58回大会 2007年9月7日 神戸大学（兵庫県）

〔その他〕（計1件）

大井舞子 時系列画像、加速度・角速度、筋電図から見た野球におけるバッティング動作の構造 1-21 未発表

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松原 周信 (MATSUBARA CHIKANOBU)
京都府立大学・生命環境科学研究科・研究員
研究者番号：20121767

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

東 あかね (HIGASHI AKANE)
京都府立大学・生命環境科学研究科・教授
研究者番号：40173132