

原著：秋田大学保健学専攻紀要23(1)：31-37, 2015

3軸加速度計システムを用いた自転車駆動時間の測定の信頼性に関する検討

伊藤 あずさ* 岩倉 正浩**** 佐藤 瑞騎****
坂田 俊一**** 佐竹 将宏** 塩谷 隆信**

要 旨

〔目的〕3軸加速度計システムを用いて自転車駆動を判別し、その駆動時間を測定することを目的とした。〔対象〕実験1では健常学生11名、実験2では健常学生9名を対象とした。〔方法〕実験1では、対象者に2つの3軸加速度計を装着させ、自転車を含む日常生活動作を行わせた。3軸加速度計が記録した加速度から変動値を算出し、総時間における判別された時間の割合から判別閾値を検討した。実験2では、対象者に3軸加速度計を装着させ実験1と同様の活動を行わせ、その様子をビデオカメラで撮影した。次に、加速度計とビデオカメラから各動作の総時間を求めBland-Altman解析を用い比較した。〔結果〕実験1の結果、判別された時間の割合が90%以上である閾値を自転車の判別閾値と決定した。実験2の結果、3軸加速度計とビデオカメラから求めた測定時間は全ての活動において強い相関がみられた。また、加算誤差、比例誤差は認められなかった。〔結語〕これらの実験結果から、3軸加速度計システムを用いた自転車駆動の判定と駆動時間測定方法の信頼性が示唆された。

I. はじめに

日常の身体活動量を増やすことにより、生活習慣病の発症やこれを原因として死亡にいたるリスクや、加齢に伴う生活機能低下をきたすリスクを下げることが報告されている¹⁾。近年、日常の身体活動量の評価としては、加速度計を用いた歩数の測定が多く行なわれている^{2,3)}。しかし、日常の身体活動には臥位、立位、座位、歩行以外にも、車いすや自転車などの器具を用いた身体動作も含まれる。その中で、自転車駆動の運動強度は歩行よりも高いにも関わらず¹⁾、加速度計を用いて自転車駆動を判定し、駆動時間を測定した文献は、我々が調べた範囲ではみつからなかった。そこで、本研究では3軸加速度計システムを用いて、自転車駆動を判別し、自転車駆動時間を定量的に測定することを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対 象

実験1では秋田大学医学部保健学科に在籍する健常学生11名（男性4名、女性5名）を、実験2では健常学生9名（男4名、女5名）を対象とした。本研究においては、ヘルシンキ宣言を遵守し、対象者には本研究内容について十分に説明を行い、書面同意を得て行なった。対象者の背景を表1に示す。

表1 対象者の背景 (mean±SD)

	実験1	実験2
男/女(名)	4/7	4/5
年齢(歳)	20.5±0.3	20.3±0.4
身長(cm)	163.1±2.9	165.8±3.9
体重(kg)	56.5±2.9	56.8±3.8
BMI(kg/cm ²)	21.0±0.5	20.4±0.5

* JA 秋田厚生連 山本組合総合病院リハビリテーション科

** 秋田大学大学院医学系研究科 保健学専攻理学療法講座

*** 市立秋田総合病院 リハビリテーション科

**** 大曲厚生医療センター リハビリテーション科

***** くまもとテクノ産業財団 産学連携推進センター

Key Words: 3軸加速度計
自転車駆動
身体活動量

2. 方法

測定機器は3軸加速度計（A-MESTM；activity monitoring and evaluation system, ソリッドブレインズ, 熊本）を用いた。本装置は2つの小型端末とデータを収集するステーション、解析用パソコンから構成されている（図1）。体幹部及び大腿部に小型端末を装着し、それに内蔵されている3次元姿勢・加速度センサーから、姿勢成分・加速度成分を抽出し、姿勢と動作の組み合わせから臥位・座位・立位・歩行・車いす駆動を判定し、それぞれの姿勢・動作時間の測定が可能であるが、自転車駆動の判定はできない（図2, 3）^{4,5)}。

実験1は、A-MESを用いて、自転車駆動の判定基準を決定することを目的に行った。対象者には体幹部及び大腿部に小型端末を装着し、自転車駆動、歩行、車いす、立位、座位の各姿勢・動作を行わせた。現在、A-MESでは臥位・座位・立位・歩行・車いすのいずれかに判定されるため、自転車駆動の判定は不可能である^{4,5)}。予備的な検討として、実際に、自転車駆動をA-MESにより測定したところ、車いすあるいは座位に判定された。

ここで、実際の日常生活では、自転車と車いすの両方を使用することはないことから、A-MESの解析条件を、車椅子判定を座位判定とすることができる「車いすなし」に設定した^{4,5)}。この設定の変更により、自転車駆動は座位と判定とされる。よって、A-MESの座位判定から、自転車駆動と静止座位（A-MESの判定における座位と区別するため、対象者が行った座位を、ここでは静止座位と呼ぶこととする）を判別する方法を検討することとした。自転車駆動と静止座位の違いは、前者においては座位の姿勢に下肢運動を伴うことである。したがって、今回の検討では、大腿部に取り付けられた小型端末が感知した加速度を解析した。

しかし、加速度そのものでは比較が困難であったため、加速度の振幅の大きさを変動値として算出し、加速度の変動値を用いて比較を行った⁴⁾。加速度の変動値は、求める時刻の加速度と、その前後5個の加速度を含めた平均値との差を、2乗し10をかけた値で、差をより明確にしたものである（図4）⁴⁾。次に、A-MESが座位と判定した変動値の中で、判別閾値を0.1, 0.05, 0.01, 0.005, 0.001と変化させて、自転車駆動と静止座位の総時間における割合を求めた（図5）。このようにして求めた総時間における割合から、A-MESが座位と判定した自転車駆動と静止座位を最も良く判別する変動値の判別閾値を決定した。

実験2は、実験1で決定した自転車駆動の判定基準で駆動時間を測定することが妥当であるかを検討する

目的で行った。対象者には、小型端末を装着し自転車駆動、歩行、立位、静止座位を行わせ、その様子をビデオカメラ（EXILIM ZOOM EX-Z1080, CASIO）で撮影した。自転車駆動は屋外の平地を端座位で約60回転/分で約2分間行わせた。歩行は屋外で約4 km/

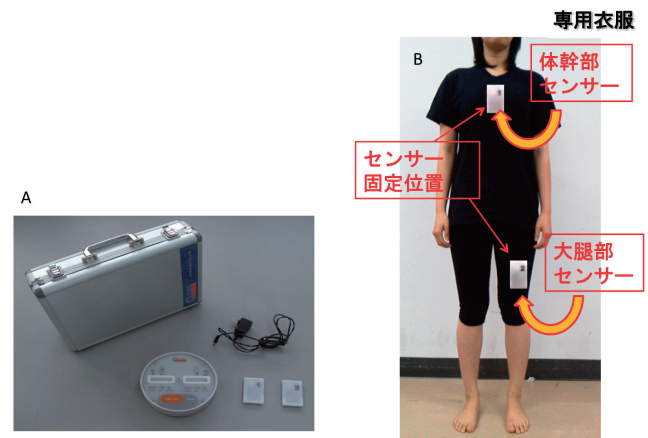


図1 A-MES測定装置の外観(A)と装着の実際(B)



図2 A-MESによる姿勢・動作の判定原理(A~E)

A：立位，B：座位，C：臥位，D：歩行，E：車いす駆動

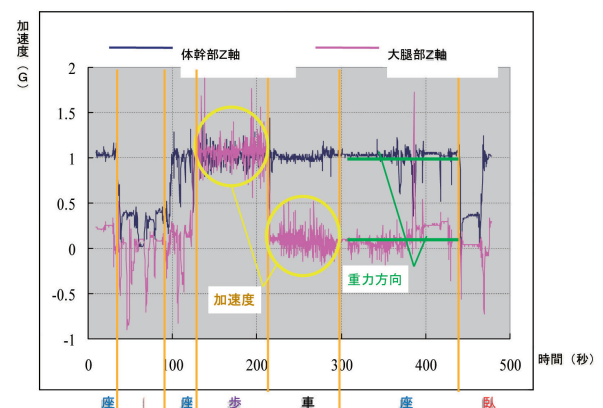


図3 A-MESにおける加速度の実波形と各姿勢・動作の判定

体幹部（Z軸）と大腿部（Z軸）が垂直で加速度が検出された場合には歩行、体幹部（Z軸）が垂直、大腿部（Z軸）が水平で加速度が検出された場合には車椅子と判定される（○印）。

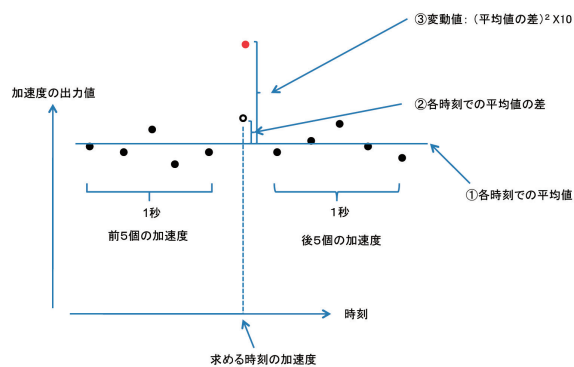


図4 加速度の変動値の算出に関するイメージ図

ある時刻における加速度と前後5個ずつの平均値との差を求め、次にこの値を2乗しさらに10倍した値を変動値として算出した⁴⁾⁵⁾。

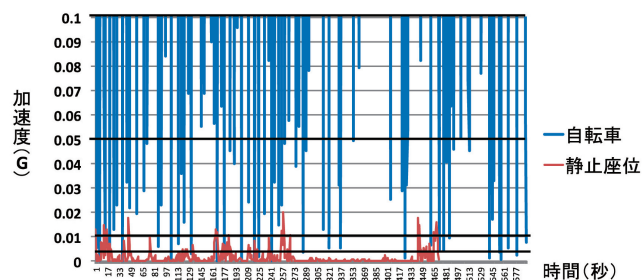


図5 自転車駆動と静止座位の判別閾値の検討

自転車駆動と静止座位における加速度の変動値を、閾値0.1, 0.05, 0.01, 0.005のように順次下げていき、この2つの姿勢・動作を尤も判別する閾値を求め判別閾値とした。

時のスピードで約5分間行わせた。立位、座位はそれぞれの姿勢で約1分間保持させた。歩行と立位はA-MESの自動判定により、それぞれの総時間を求め、自転車駆動と静止座位は、A-MESで記録された加速度のうち、座位判定となった範囲の加速度を抽出し、実験1で決定した判定方法を使用してそれぞれの総時間を求めた。さらに、ビデオカメラで撮影した映像はパソコンに取り込み、windows media player (Microsoft社製)を用いて、パソコンの画面を見ながら各動作の総時間を求め、A-MESの総時間と比較した。

統計解析について、解析ソフトはSPSS11.5J for windowsを使用し、有意水準を5%とした。実験1で

は、各閾値における自転車駆動と静止座位の時間の割合の有意差の判定を、反復測定による分散分析 (repeated measure ANOVA) 及び多重比較検定により行った。

実験2では、A-MESで測定された時間とビデオカメラで記録した時間を比較し、2測定値間の関連性の検討には、Pearsonの積率相関係数を求めた。さらに、2測定値間に含まれる機器の特性や測定者の判定の偏りといった統計誤差を検討するためにBland and Altman分析を用いた⁶⁻⁸⁾。この分析では、2つの測定値の差をy軸、2つの測定値の平均値をx軸にプロットした散布図 (Bland and Altman plot) を作成し、測定値間に含まれる誤差の種類、特に偶然誤差と系統誤差を特定することができる⁶⁻⁸⁾。偶然誤差とは、個体差や測定誤差を、系統誤差とは固定誤差や比例誤差を指す。次に、临床上の許容範囲を検討するために、95%信頼区間における最小可検変化量 (Minimal Detectable Change; MDC) MDC95⁹⁾を求めた。

III. 結 果

実験1における自転車駆動と静止座位と判定された総時間の割合の結果を表2に示す。自転車駆動では、変動値の判別閾値を0.1から小さくしていくと総時間に占める自転車駆動時間の割合が増加していった。一方、静止座位では、判別閾値を0.1から小さくしていくと静止座位時間の割合が減少していった。判別閾値が0.01のとき、自転車駆動と静止座位ともに90%以上の割合で判別することができた。自転車駆動において、判別できる割合が90%以上であった判別閾値0.05と0.001とは判別閾値0.01と有意差はみられなかったが、割合が90%未満であった判別閾値0.5と0.1とは有意差がみられた ($p < 0.05$)。静止座位においても、判別できる割合が90%以上であった判別閾値0.1と0.05とは判別閾値0.01と有意差はみられなかったが、割合が90%未満であった0.005と0.001とは有意差がみられた ($p < 0.05$)。これらの結果から、A-MESの座位判定から、自転車駆動と静止座位を識別する変動値の判別

表2 総時間における自転車駆動と静止座位と判別された時間の割合 (N=11)

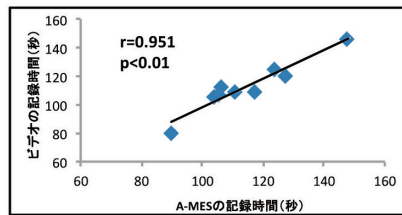
	判 別 閾 値				
	0.1	0.05	0.01	0.005	0.001
自転車駆動 (%)	73.0±5.8*	84.0±1.3*	94.8±0.2	96.5±0.2	98.4±0.1
静止座位 (%)	97.4±0.5	96.3±0.6	93.0±0.8	85.9±1.5*	75.7±2.9*

* 判別閾値(0.01)の値と有意差有り ($p < 0.05$)

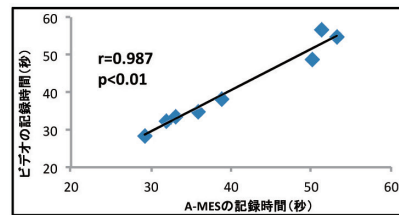
表3 A-MESとビデオカメラによる各姿勢・動作時間と相関係数 (N=9)

	A-MES (秒)	ビデオカメラ (秒)	Pearson の積率相関係数
自転車	113.2±17.8	114.9±16.8	0.95
静止座位	40.0±10.5	39.5±9.5	0.99
歩行	335.0±40.1	332.8±40.3	0.98
立位	70.1±23.8	70.6±21.6	0.99

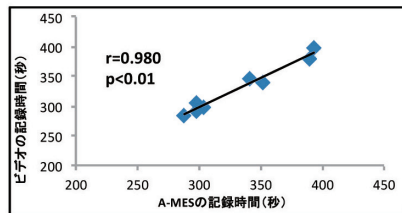
A. 自転車



B. 静止座位



C. 歩行



D. 立位

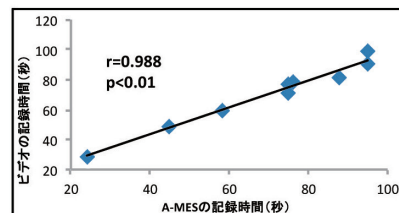


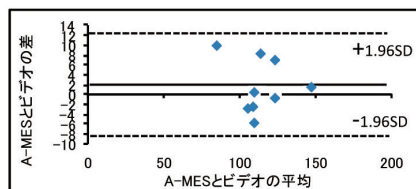
図6 A-MESとビデオ撮影による各姿勢・動作時間の相関関係

A: 自転車, B: 静止座位, C: 歩行, D: 立位

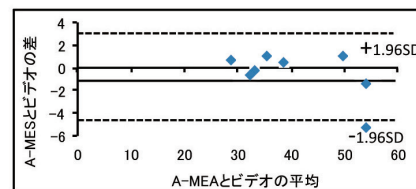
表4 各姿勢・動作時間測定における加算誤差と比例誤差 (N=9)

	加算誤差		比例誤差		MDC95
	95%信頼区間	有無	相関係数	有無	
自転車	-2.51~5.94	なし	-0.18	なし	10.77
静止座位	-2.02~0.95	なし	-0.54	なし	3.79
歩行	-3.89~8.33	なし	-0.02	なし	15.58
立位	-3.71~2.82	なし	0.54	なし	8.31

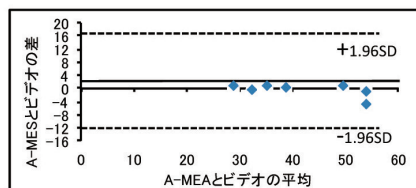
A. 自転車



B. 静止座位



C. 歩行



D. 立位

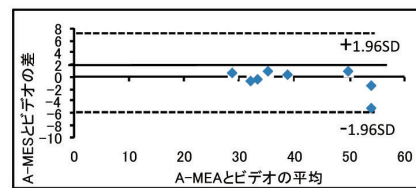


図7 A-MESとビデオ撮影による自転車駆動時間の差 (Bland Altman Plot)

A: 自転車, B: 静止座位, C: 歩行, D: 立位

閾値を0.01に決定した。

実験2におけるA-MESとビデオカメラから求めた活動時間と相関関係の結果を表3に示す。Pearsonの積率相関係数を求めたところ、自転車駆動、静止座位、歩行、立位のすべての姿勢・動作において強い相関がみられた(図6, 表3)。次に、Bland and Altman分析の結果、測定の信頼性を示す指標としての加算誤差と比例誤差は、すべての姿勢・動作において認められなかった(図7, 表4)。

IV. 考 察

本研究は、3軸加速度計システムA-MESを用いて、自転車駆動を判別し、駆動時間を定量的に連続測定することを目的として行った。A-MESでは、自転車駆動を行うと座位あるいは車いすと判定された。これはA-MESは、自転車駆動の際にはその姿勢を座位と判定し、この姿勢で前方に加速度が生じれば車いすと判定するためと考えられた^{9,11)}。A-MESには車いす駆動を判別して、車いす駆動時間を除外する機能がある^{4,5)}。すなわち、自転車駆動時間は、A-MESで測定された座位時間から静止座位時間を差し引けば求まることになる。実験1では、自転車駆動と静止座位で生じるそれぞれの加速度から変動値を求め、総時間における両者を判別できた割合を比較した。その結果、検出閾値0.01において、自転車駆動と静止座位をそれぞれ90%以上の割合で判別することができた。

実験2では、実験1で決定した判別方法で自転車駆動時間を測定することの妥当性を検討した。その結果、自転車駆動、静止座位時間ともに加算誤差及び比例誤差は認められなかった。測定値に系統誤差が認められない場合、測定の信頼性を低下させている要因として考えられるのは偶然誤差である^{8,9)}。そこで、混入している誤差の範囲を推定するため、MDC95を求めたところ、自転車駆動で10.8秒、静止座位で3.8秒であった。A-MESの身体活動時間の信頼性を報告した佐藤ら¹⁰⁾の検討結果から、座位のMDC95は、1分間あたり約4秒と推定される。実験IIの結果、自転車駆動と静止座位の測定時間の平均はそれぞれ113.2秒、40.0秒であったが、1分間あたりのMDC95は、自転車駆動が約5秒、静止座位が約6秒となり、佐藤ら¹⁰⁾の報告したMDC95とほぼ同様であると考えられた。以上より、自転車駆動時間測定に際して生じる混入誤差は、日常生活において自転車駆動時間を測定するという臨床応用に際しては、特に問題にならないと考えられた。

本研究における自転車駆動時間を客観的に測定することの臨床的意義は、自転車を日常生活に用いている

場合の身体活動量をより正確に把握することが可能となることである。近年、生活習慣病予防として身体活動量の増加が推奨されている¹⁾。身体活動の強度と量の指標として、それぞれMETs(メッツ)とEx(エクササイズ)が用いられていて、厚生労働省は「強度が3METs以上の身体活動を23Ex/週行う¹⁾」ことを推奨している。従来、自転車駆動時間を加速度計により客観的に測定する方法は行われていなかった。近年、3軸加速度計を2つ使用することで臥位、立位、座位、歩行、車いす駆動などの姿勢動作時間を自動判定できる3軸加速度計システムA-MESが開発されたが、本システムでは自転車駆動を判別し、駆動時間を測定することができなかった^{4,5)}。実際にA-MESにより従来の方で自転車駆動を判定すると車いすあるいは座位と判定された。運動強度は、自転車駆動は約4METs、車椅子あるいは静止座位は1.5~2METs程度であることから¹⁾、A-MESにより自転車駆動を評価すると、運動強度を過小評価することになる。今回の検討で、A-MESの判定閾値を変えることで自転車駆動を判別し、自転車駆動時間を連続測定することが可能となった。

A-MESにより測定した自転車駆動時間とビデオカメラにより撮影した時間と比較したところ両者は有意に相関し、また、Bland and Altman分析では加算誤差及び比例誤差が認められず、本法による自転車駆動時間測定の信頼性が証明された。日常生活における自転車駆動時間の客観的な評価は、身体活動量のより正確な評価に繋がり、運動強度が高い自転車駆動をより積極的に行うことで、身体活動量を向上させることに繋がると考えられる。

本研究においてA-MESによる測定および解析は筆頭著者一人で行なった。このことから、複数の検者間で行なう級内相関係数の検討ができていないことが短所であると考えられる。また、自転車駆動の測定日は1日のみであったので、何日間測定すればよいのかの検討も行っていない。さらに、歩行あるいは自転車駆動を行なう際に、平地と坂道ではその運動強度が異なることから、A-MESを用い傾斜についての判別できるようにすることが今後の研究課題のひとつである。

今回、新しく改良を加えたA-MESを用いて、自転車駆動時間を測定することが可能となった。今後は、実際、自転車を日常生活に利用している人を対象にして、自転車駆動時間を測定して、その人の一日の姿勢・動作時間を判定し、その成績の信頼性や妥当性を検証することが必要である。さらに、リハビリテーションの現場において、自転車駆動の客観的な評価が可能になれば、身体活動向上のプログラム作成にも役立つ。

より効率的なアプローチができることが期待される。

V. まとめ

3 軸加速度計システム (A-MES) の解析プログラムを改良して、自転車駆動を判別し、その駆動時間を測定した。3 軸加速度計システムとビデオカメラ撮影による自転車駆動時間の測定結果はよく一致し、本 3 軸加速度計システムによる自転車駆動時間の測定の信頼性が示唆された。

引用文献

- 1) 厚生労働省：健康づくりのため身体活動基準2013.
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002xp1e-att/2r9852000002xpqt.pdf> (閲覧日2013年11月1日).
- 2) 山田宏美, 阿比留博次・他：糖尿病を合併した重症新機能不全患者に対する 3 軸加速度計を用いた運動指導の経験. 長崎理学療法科学. 13 : 15-22, 2012.
- 3) 若梅一樹, 東條美奈子・他：生活習慣病患者における歩数計を利用したセルフモニタリングによる運動指導は身体活動量を増加させ血管内皮機能の改善につながる. 日本循環器病予防学会誌. 47(1) : 13-23, 2012.
- 4) 坂田俊一, 永田正伸・他：生活活動計の開発 (プロトタイプ 1 号機試作結果). 電応研テクニカルレポート. 12(1) : 19-25, 2002.
- 5) 坂田俊一, 野尻晋一・他：生活活動計 (A-MES) の商品化に向けた機能改善. 電応研テクニカルレポート. 14(1) : 10-14, 2004.
- 6) Bland JM, Altman DG : Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. Lancet. 8476 (1) : 307-310, 1986.
- 7) 下井俊典, 谷浩明 : Bland-Altman 分析を用いた継ぎ脚歩行テストの検者内・検者間信頼性の検討. 理学療法科学. 23(5) : 623-631, 2008.
- 8) 下井俊典 : 評価の絶対信頼性. 理学療法科学. 26(3) : 451-461, 2011.
- 9) 葛巻歩, 照井佳乃・他 : 2 種類の加速度計を用いた座位における 1 日の上肢活動量の定量的測定に関する検討. 理学療法科学. 27(5) : 571-575, 2012.
- 10) 佐藤拓, 北村菜月・他 : 3 軸加速度計による身体活動時間測定の妥当性. バイオメカニズム学会誌. 35(3) : 197-200, 2011.
- 11) 三浦早織, 佐竹将宏・他. 3 軸加速度計システムを用いた歩行速度の違いによる 1 日の歩行時間の評価. Jpn J Compr Rehabil Sci 4 : 73-79, 2013.

Measurement of the Bicycle Driving Time Using a Triaxial Accelerometer System

Azusa ITO* Masahiro IWAKURA**** Mizuki SATO****
Shunichi SAKATA**** Masahiro SATAKE** Takanobu SHIOYA**

* Akita Kouseiren Yamamoto General Hospital, Department of Rehabilitation

** Akita University Graduate School of Health Sciences, Department of Physical Therapy

*** Akita City General Hospital, Department of Rehabilitation

**** Omagari Kousei Medical Center, Department of Rehabilitation

***** Kumamoto Technology and Industry Foundation

[Purpose] The purpose of this study was to discriminate the movement of bicycle drive and measure the time spent operating a bicycle using a new triaxial accelerometer system. [Subjects] Eleven healthy students participated in the first experiment and nine healthy students participated in the second experiment. [Methods] Subjects wearing two accelerometers carried out the activities of daily living, including a bicycle drive, in the first experiment. We evaluated the variation values from the data obtained from the acceleration accelerometer system and determined the discriminating threshold from the percentages of times analyzed to be during the bicycle drive in the total times. Subjects wearing two accelerometers carried out the activities of daily living, including a bicycle drive, and were videotaped in the second experiment. The times obtained by these two methods were compared using the Bland-Altman method. [Results] The discriminating threshold was capable of distinguishing the bicycle operating time at a ratio of 90% or more in the first experiment. There was a strong and significant correlation among all the activity times measured by the video camera and the accelerometer, and no fixed or proportional errors were observed in the second experiment. [Conclusion] These data suggest the reliability of using the new triaxial accelerometer system to measure the time spent operating a bicycle.