
原 著

運動強度および心電図の24時間同時記録システムの 有用性と一般勤労者の運動量の測定

新潟大学医学部内科学第一教室（指導：柴田 昭教授）

相 崎 俊 哉

Usefulness of an Ambulatory 24-hour Recording Device and
Its Analytical System for Electrocardiogram and
Exercise Intensity and Their Application
to Different Workers

Toshiya AIZAKI

*The First Department of Internal Medicine,
Niigata University School of Medicine
(Director: Prof. Akira SHIBATA)*

Low physical activity in modern life has been pointed out to cause various diseases such as diabetes and hyperlipidemia. An adequate exercise prescription has been difficult partly because of the lack of a suitable device which monitors physical activity continuously. In the previous paper, we presented a new portable recording device for 24 hours exercise intensity and electrocardiogram as well as an analyzing system. In the present paper, results from performance test for this device as well as results obtained by applying them to different kinds of workers will be presented.

When ten adults healthy males walked or ran on a flat slope treadmill at different speeds (2.5~5.8 miles/hour) by wearing the device on their waists, the output exercise intensity correlated well ($r=0.96$, $p<0.01$) with the intensity estimated from the formula proposed by the American College of Sports Medicine. Vibration transmitted during boarding on a car did not influence the output count. The output count was approximately one third of the estimated value when the subject walked up stairs three floors and was 1.7 times larger when he walked down. We had to keep such characteristics in mind to interpret results.

Reprint requests to: Toshiya AIZAKI,
The First Department of Internal Medicine,
Niigata University School of Medicine,
Niigata City, 951, JAPAN.

別刷請求先: 〒951 新潟市旭町通1番町
新潟大学医学部内科学第一教室
相崎俊哉

Difference in physical activity was checked by the device in office workers and canvassers (20 subjects for each group with the mean age of 35 years and mean body weight of 64 kg). The mean and standard deviation of total energy consumption, obtained as the sum of exercise intensity (METS) multiplied by body weight (Kg) and by exercise hours, was significantly larger in the canvassers than in the office workers (2309 ± 321 vs 2121 ± 289 Kcal/day, $p < 0.01$). Mean exercise intensity obtained for every three hours interval during the time period from 6 to 24 O'clock was also significantly larger in the former. Total time spent for exercise for which the heart rate exceeded 60% of the expected maximum heart rate was also larger in the former (62 ± 41 vs 22 ± 18 minutes, $p < 0.05$), though the exercise intensity was not different (2.6 ± 1.1 vs 2.5 ± 0.9 METS). These results tells that physical activity is decreased in the office workers and more exercise would be necessary for them to lead to a healthy life.

Key words: Exercise Intensity, Heart Rate, Daily Physical Activity, Accelerometer, Office Workers, Canvassers
運動強度, 心拍数, 日常身体活動, 加速度センサ, 事務職者, 営業職者

目 的

今日まで、身体運動の少ない職種の増加や交通機関の発達により、現代人の運動不足が盛んに叫ばれてきた。特に中小都市における勤労者では身体活動量が少ないことが、肥満や血清脂質といった冠危険因子へ悪影響を与えたとの報告がある¹⁾。また糖尿病、高血圧、高脂血症などの疾患について運動の重要性が今まで唱えられてきた²⁾³⁾。しかしその一方で身体活動を長時間測定できる機器が開発されないために適切な運動処方が出来ず、運動不足を解消できなかったことも否定できない。我々は日常生活上で運動量と心電図を経時的にモニター出来る測定装置を開発した⁴⁾。この装置を用いて、まず運動量の測定の特性と限界について調べた。次に2つの異なる職種(事務職と営業職)の一般勤労者を対象として、平日勤務における1日の運動量と時間分布、さらに有効運動の占める時間とその際の平均の運動強度を測定し、各群の運動量と行動パターンの差がとらえられるかを比較検討した。

方 法

図1に記録解析システムの構成を示した。バイモルフ型加速度センサを腰部に装着し、身体の垂直方向の加速度の大きさを運動強度としてとらえた。この加速度センサはカロリーカウンタα(Kenz社製、幅62.8×奥行き46.4×厚さ16.5mm、重量約42g)にも用いら

れており、その有用性は既に報告されている^{5)~7)}。この加速度センサからの出力を増幅器(幅114.0mm×高さ19.5×奥行き80.0mm、約153g(006P電池込み))で増幅した後、2誘導分の心電図とともに改造した24時間データレコーダ(SM-28、フクダ電子社製、幅110×高さ31.5mm×奥行き84mm、約210g)で同時に記録した。得られた記録はデータ解析器(SCM-280、フクダ電子社製)で解析した。また、この解析データをパーソナルコンピュータ(PC-9821、NEC社製)にRS-232Cインターフェースを介して取り込み、目的とするデータの集計と分析を行った。運動強度と心拍数のデータはパーソナルコンピュータ上で、経時的に1分から60分毎の任意の時間間隔の平均値を算出し集計することが可能である。今回の研究では10分毎の平均の運動強度と心拍数のデータを用いた。

まず、今回運動強度計として用いた加速度センサの特性を調べるために、これを健康な男性被検者10名(20~32歳)の腰部に装着し、トレッドミル上を時速2.5~5.8マイルで歩行または走行したときの加速度センサからの出力を記録した。この際、歩数計を同時に腰部に装着してその歩数を記録した。次にこの10名が階段を昇降したときの加速度センサからの出力を記録した。昇段、降段とも、20cm/段の階段(24段/階)を3階/分の一定のスピードで行った。アメリカスポーツ医学協会が提唱されている計算式⁸⁾から、それぞれの動作の際の、推定運動強度(MET: Metabolic Equivalent)を求めて、

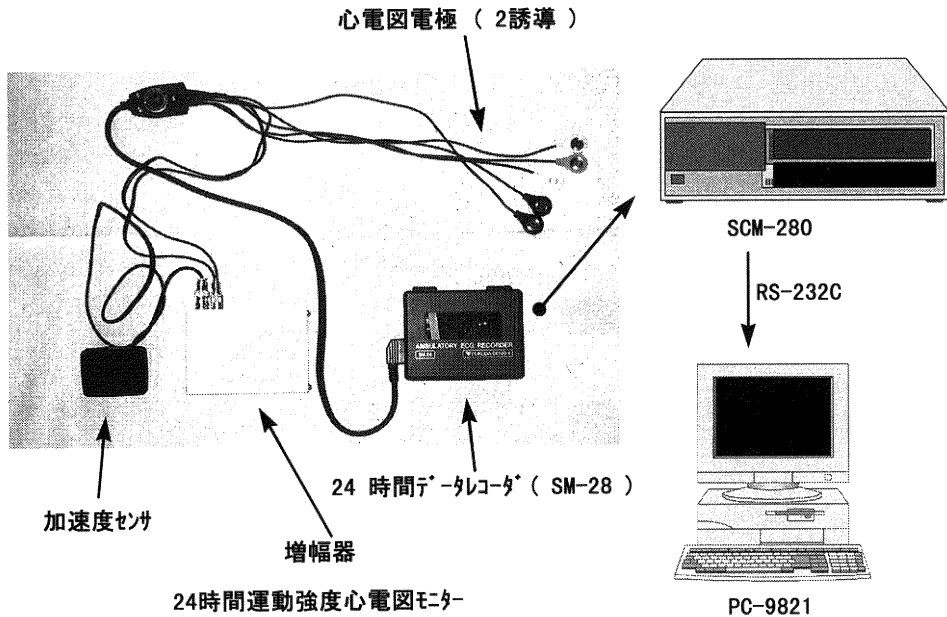


図1 運動強度および心電図の24時間同時記録解析システムの構成

加速度センサからの運動強度データと、心電図（2誘導）をテープに記録し、解析器（SCM-280、フクダ電子社製）からRS-232Cインタフェースを介してパーソナルコンピュータ（PC-9821、NEC社製）にデータを取り込んだ。

加速度センサからの出力と比較した。即ち、水平歩行（スピード120m/分以下）の場合は（スピード（m/分） \times 0.1+3.5）/3.5（METS），水平走行（スピード128m/分以上）の場合は（スピード（m/分） \times 0.2+3.5）/3.5（METS），昇段運動の際には（昇段回数（回/分） \times 0.35+垂直方向のスピード（m/分） \times 1.00 \times 1.8）/3.5（METS），降段運動の際には（降段回数（回/分） \times 0.35+垂直方向のスピード（m/分） \times 0.33 \times 1.8）/3.5（METS）によって推定運動強度を求めた。

また、自動車乗車時の、振動による加速度センサの出力への影響を調べるために、男性1名の腰部に加速度センサを装着し、実際に舗装路、砂利道上を自動車走行したときと停車時の出力を記録した。このとき10秒ごとに加速度センサから算出された運動強度を3分間集計し平均を求めた。

次に新潟市在住の男性で、年齢と体重をマッチさせた事務職20名と営業職20名（平均年齢35歳、平均体重64kg）を対象として、平日の勤務の際にこの加速度センサ内蔵の運動強度心電図モニター⁴⁾による24時間記録を行った。この記録から、10分毎の平均の運動強度と心

拍数を求めた。この10分毎のデータを用いて、1日の総消費カロリー及び、3時間毎の平均運動強度を算出した。さらに年齢毎に決定される予測最大心拍数（220-年齢（/分）⁸⁾）の、60%以上の心拍数を示した時間帯を有効運動を行った時間と仮定して⁹⁾、1日の中で占める総時間数と、その際の平均運動強度を求めた。

トレッドミル上を歩行した際の加速度センサからの出力と、歩行速度から計算される推定運動強度との関係をみるために相関係数を求めた。2群間の平均値の比較には対応のないt検定を用いた。なお消費カロリー（Kcal）は運動強度（METS） \times 体重（kg） \times 時間（h）を10分毎に求めて積算した。

結 果

今回、運動強度計として用いた加速度センサの出力と、トレッドミル上を歩行または走行した際の推定運動強度との関係を図2に示した。推定運動強度と加速度センサの出力は $r=0.96$ と有意な高い正相関を認めた（ $p<0.01$ ）。歩数計では時速4.2マイル（4.2METSに相当）を越えると出力が飽和し、加速度センサのような時速5.8

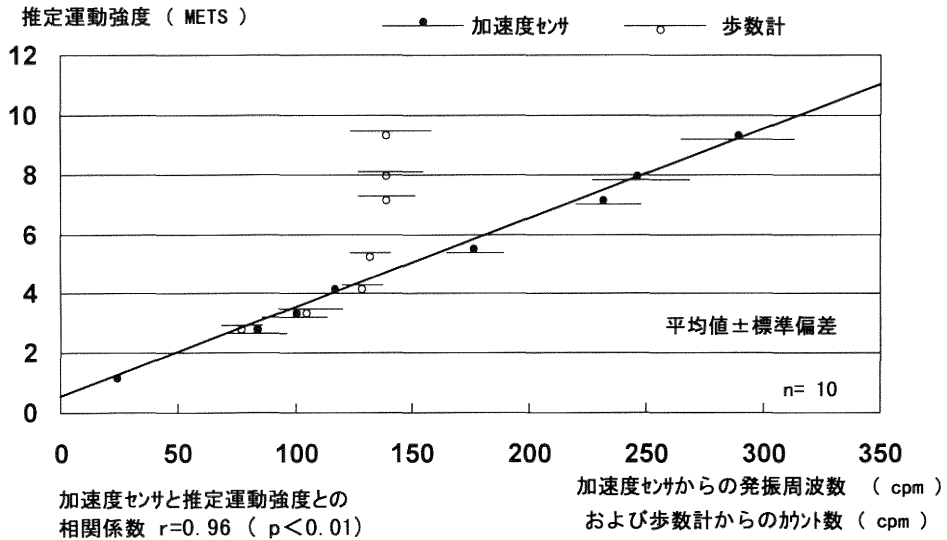
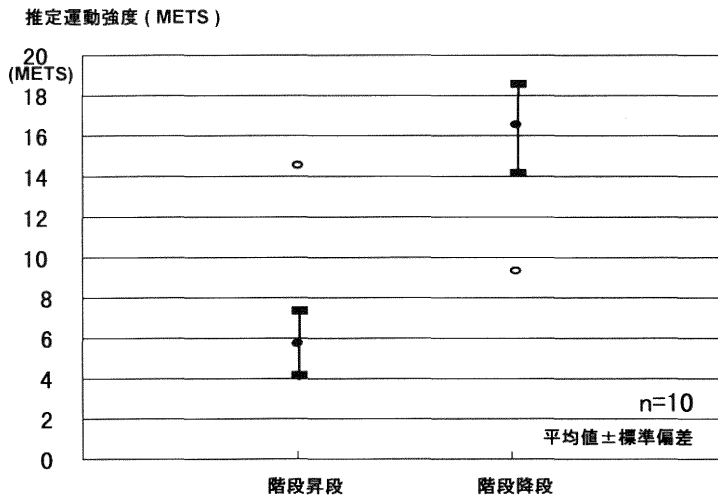


図 2 トレッドミル上を歩行または走行した際の、加速度センサおよび歩数計からの出力と、推定運動強度との関係

加速度センサの出力は推定運動強度と $r=0.96$ とよい相関を認めた。しかし、歩数計では時速 4.2 マイル (4.2 METS に相当) を越えると速度を速めても殆ど出力が飽和し、運動強度を反映しなかった。



- アメリカスポーツ医学協会で提唱されている計算式より得た推定運動強度
- 加速度センサの出力から得た運動強度

図 3 健常男性10名による階段昇段および降段時の加速度センサの出力と、推定運動強度との関係

加速度センサによる運動強度は、アメリカスポーツ医学協会で提唱されている計算式から得た推定運動強度に比べて、昇段時には約 1/3 に過小出力され、降段時には 1.7 倍に過大に出力された。

マイル (9.8 METS に相当) までの出力の追従は認められなかった。

健常男性10名が階段を、昇段及び降段した際の加速度センサからの出力と、計算で得られた推定運動強度との関係を図3に示した。アメリカスポーツ医学協会が提唱されている計算式より得た推定運動強度は階段昇段時で14.6 METS、降段時で9.6 METSであった。加速度センサから得られた運動強度(平均値±標準偏差)は階段昇段時で 5.6 ± 1.5 METS、階段降段時で 16.3 ± 2.2 METSであった。加速度センサからの出力は推定値に比べ昇段時には約1/3に過小出力され、降段時には1.7倍と過大に出力された。

図4に、この加速度センサを腰部に装着し、自動車を運転したときの加速度センサの出力と停車時の出力を示した。自動車運転時(舗装路及び砂利道)及び停車時の、加速度センサからの出力は有意な差を認めず、走行時の振動の影響は少ないと考えられた。出力の平均値±標準偏差は停車時 1.3 ± 0.1 METS、走行時(舗装路) 1.3 ± 0.2 METS、走行時(砂利道) 1.3 ± 0.2 METSであった。

次にこの加速度センサ内蔵の運動強度心電図モニターを一般勤労者に24時間装着した。図5に52歳の事務職者の、24時間の経時的な運動強度の推移を示した。被検者は検査当日に行動記録を行った。上段は1分ごとの平均運動強度、中段は10分ごとの平均運動強度、下段は30

分ごとの平均運動強度を示した。通勤の際の、歩行→電車乗車→歩行というパターンは1分毎、10分毎の平均運動強度では捉えられているが、30分ごとの平均運動強度では捉えられなかった。

10分毎の運動強度と心拍数の平均値を用いて、事務職者と営業職者の、24時間の運動強度と心拍数の経時的な変化の1例を図6に示した。勤務時間帯(9時から17時)において、事務職者より営業職者で平均運動強度が大きかった(事務職者1.3 METS、営業職者1.8 METS)。

図7に事務職群と営業職群の1日の総消費カロリーを示した。

1日の総消費カロリーは事務職群で平均値±標準偏差が 2121 ± 289 Kcal/日であり、営業職群の 2309 ± 321 Kcal/日に比べて有意に少なく、またその差は188 Kcal/日であった。

図8に、3時間毎に平均した運動強度 METS を示した。勤務時間帯(9時から17時)を含む6時から24時で事務職群に比べて営業職群で有意に平均運動強度が大きかった。殊に事務職群では全時間帯を通して1.3から1.5 METS と殆ど体動を認めなかった。

また図9に1日のうち、有効運動に費やした時間を示した。営業職群で合計時間(平均値±標準偏差)が 62 ± 41 分/日であったのに比べて事務職群でわずかに 22 ± 18 分/日にとどまり有意に少なかった。

但し有効運動の際に示した運動強度(平均値±標準偏

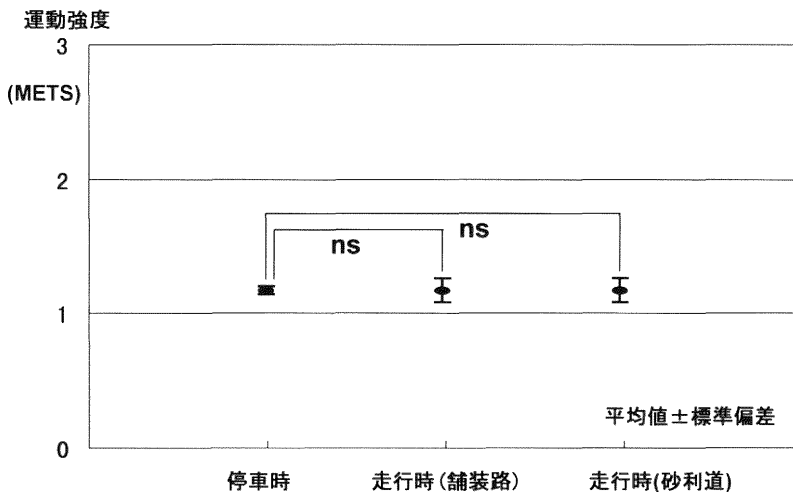


図4 加速度センサを腰部に装着したときの、自動車運転時と停車時の出力

自動車運転時の、加速度センサからの出力は舗装路でも砂利道でも有意な変化を認めず、走行時の振動の影響は少ないと考えられた。

運動強度 (METS)

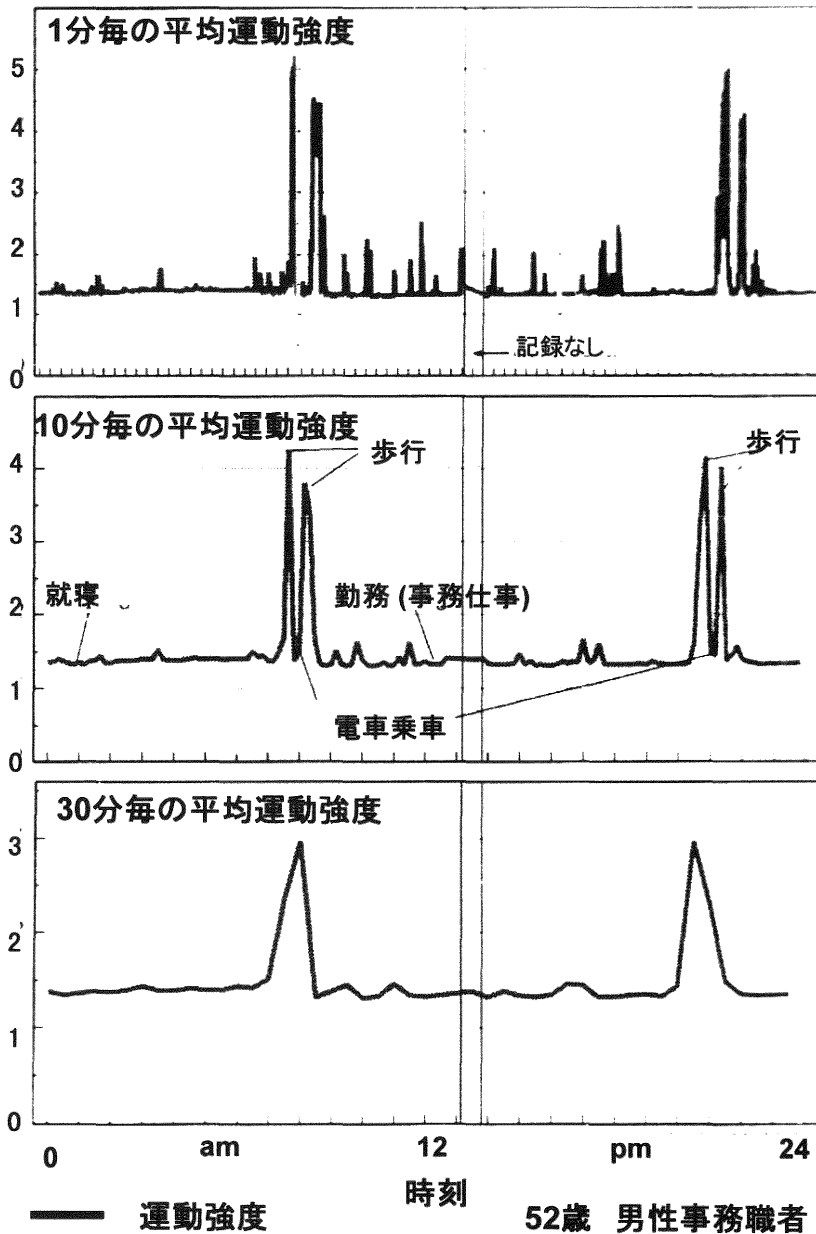
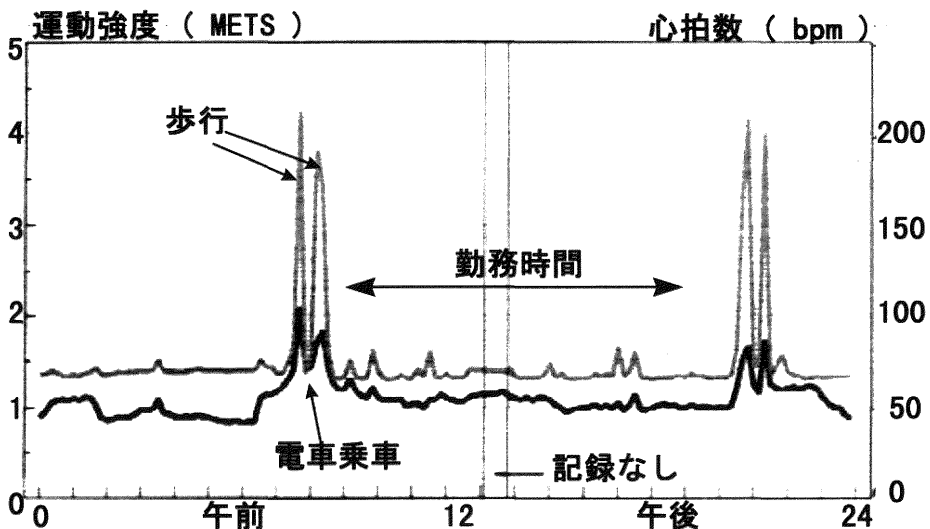


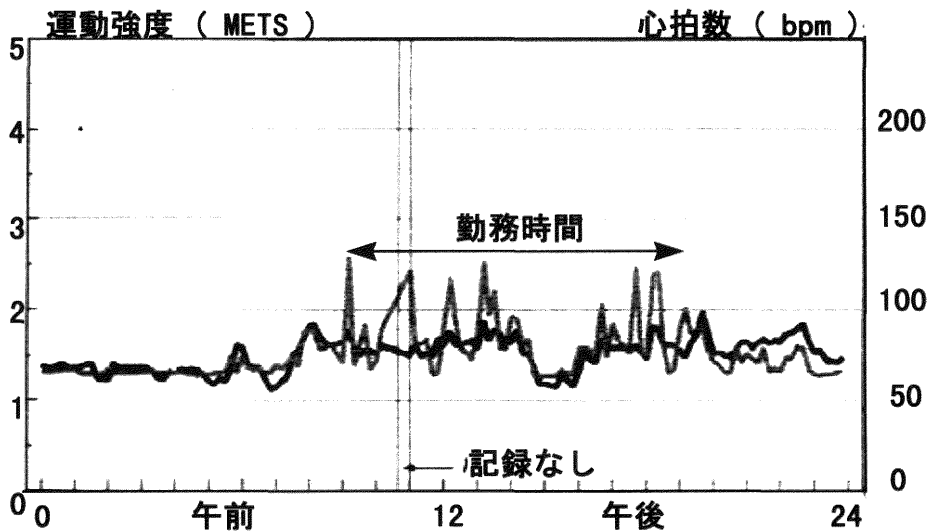
図 5 52歳の事務職者の、24時間の経時的な運動強度の推移

上, 中, 下段はそれぞれ1分毎, 10分毎, 30分毎の平均運動強度を示す. 通勤の際の歩行→電車乗車→歩行というパターンは1分毎, 10分毎の平均運動強度ではとらえられているが, 30分毎の平均運動強度ではとらえられなかった. なお記録なしとした時間帯は, 本装置の被検者への脱着などのために記録ができなかった時間を含む.

52歳 男性事務職者



32歳 男性営業職者



—— 心拍数
 - - - - 運動強度

図6 事務職者と営業職者の24時間の運動強度と心拍数の経時的な変化の1例
 10分毎の運動強度と心拍数の平均値を用いた。勤務時間帯(9時から17時)で事務職者に比べて営業職者で、より運動量が多かった。

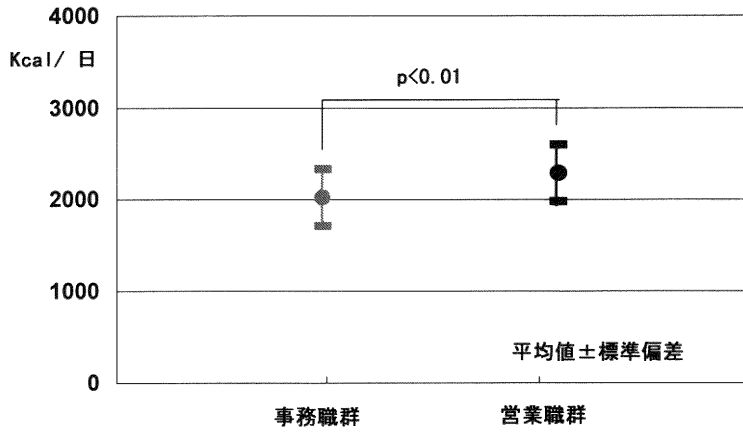


図 7 事務職群と営業職群の24時間の総消費カロリー
 営業職群の 2309±321 Kcal に対して事務職群は 2121±289 Kcal と有意に少なかった (平均値±標準偏差)。

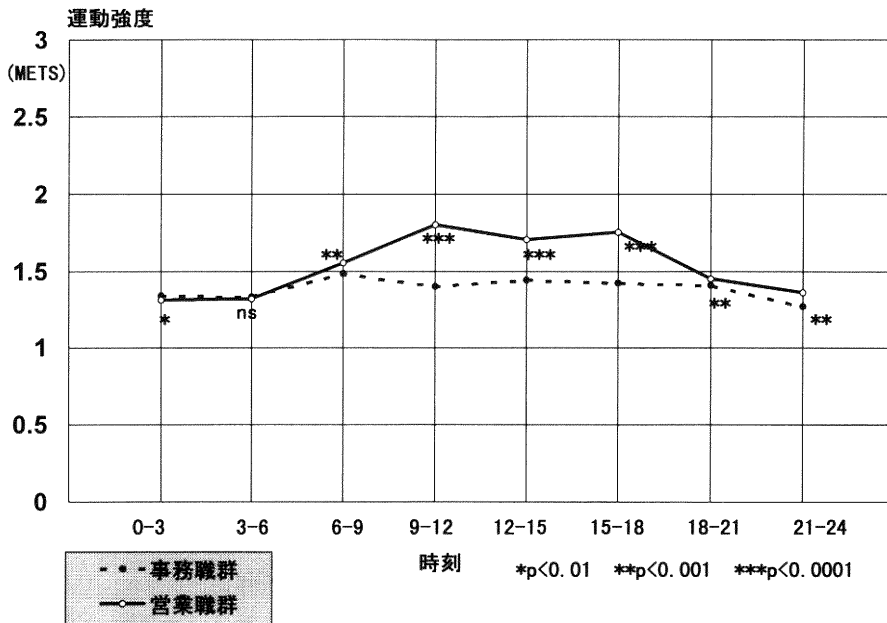


図 8 事務職群と営業職群の3時間毎の平均運動強度
 主に勤務時間帯 (9時から17時) で運動強度に差があり, 事務職群では 1.3~1.5 METs と, 日中でも殆ど体動を認めなかった。

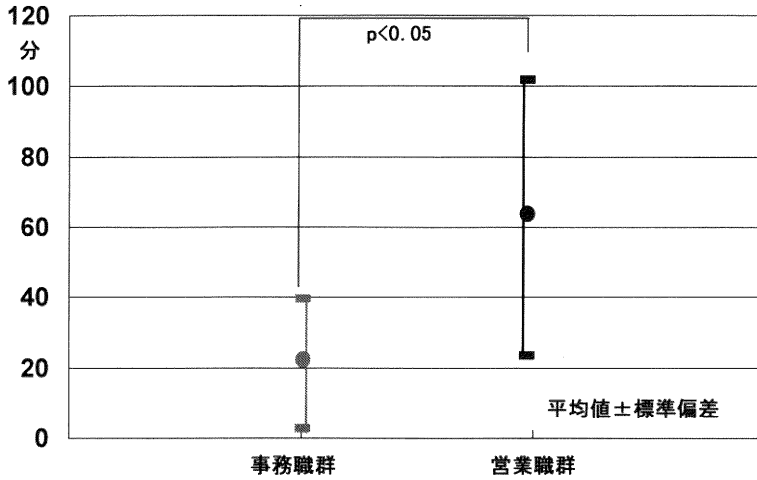


図9 有効運動が1日に占める総時間数
10分毎の平均心拍数が、予測最大心拍数の60%以上に達した時間の総和を示した。

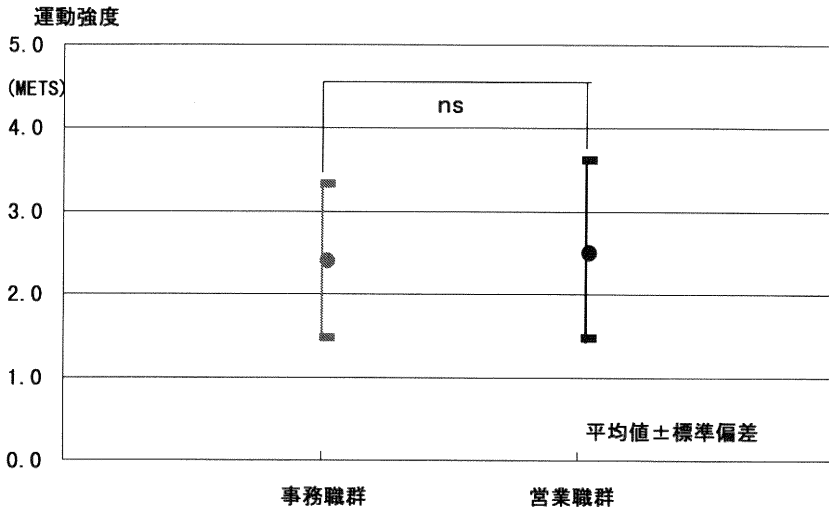


図10 有効運動時の平均運動強度
事務職群と営業職群の間には有意な差を認めなかった。ここでは10分毎の平均心拍数が予測最大心拍数の60%に達した時間の、運動強度の平均を用いた。

差)は事務職群で 2.5±0.9METS, 営業職群で 2.6±1.1 METS であり, 有意な差は認められなかった (図 10).

考 案

加速度センサを用いた運動強度の測定については, こ

れまでいくつか報告されてきた⁵⁾⁻⁷⁾. 今回, 我々が開発した装置は, 今までの装置がある決められた時間内の運動による消費カロリー量を測定するのに対して, 経時的に運動強度と心拍数を同時記録できることが新しい点といえる. 運動の, 冠動脈疾患に対する危険性も指摘さ

れていること¹¹⁾⁻¹⁵⁾を考えると、本装置は冠動脈疾患患者に対して安全にリハビリを行うとともに、安全な活動レベルを決める上で有用となる可能性が示唆される。

図2に示したように平地の歩行または走行において、時速4.2マイル以上のスピードになると、歩数計よりも加速度センサはよく運動強度を反映していると考えられた。しかし階段昇段や降段、或いは登坂⁴⁾は必ずしも正確に運動強度を反映するとはいえなかった。但し、日常生活上での運動の多くは平地歩行や走行であることが予想され、階段や登坂などの動作が主な運動とは考えにくく、こうした動作による誤差の影響は少ないのではないかと考えた。今回のデータから自動車運転などの際の車体の振動は捉えなかったことから、乗り物の振動の影響は小さいと考えられた。1日の運動量を推定する方法としては、ほかに行動記録法や心拍数法があるが、これらの方法で得られた値よりも、加速度センサを用いた場合、静的な運動を捉えられないために運動量を過小評価するとした報告もある¹⁰⁾。以上のことから加速度センサを用いて運動強度を測定する場合に、こうしたいくつかの加速度センサの特性を念頭に置いて用いる必要がある。

但し、図5に示したように1日の行動記録と比べてみると、加速度センサの出力は身体活動をよくとらえていた。また、事務職群は営業職群に比べて、1日の総消費カロリーが有意に少ないことをとらえることができた。勤務時間(9時から17時)を含む、6時から24時までの時間帯で、3時間毎のいずれの時間帯でも、事務職群は営業職群より平均運動強度が小さいことが認められた。

1日の中で有効運動と考えられた総時間数は事務職者でわずか22分にとどまり、営業職者に比べて40分間少なかったが、両群間で有効運動の際の平均運動強度には有意差は認められなかった。即ち、換言すれば事務職者は1日の運動量が、特に勤務時間帯に少なく、時速2.1マイルで約40分間⁸⁾平地歩行をするだけの運動量が、営業職者に比べて少ないことが示された。現代人の勤務形態の一つの典型ともいえる事務職群では、勤務時間内の運動量の改善が実際上困難なことを考えると、勤務以外の時間帯の運動量の改善の必要性が示唆される。尚、勤務時間外の、特に17時から24時の時間帯でも事務職群の方が営業職群に比べて平均運動強度が小さかった。事務職群では勤務とは関係のない時間帯でも身体活動が少ない傾向があるのか、さらに今後の検討の余地があると考えられた。

謝 辞

本研究に当たり、御指導を賜りました名古屋大学医学部公衆衛生学教室 豊嶋英明先生、北里大学医学部内科学教室 和泉 徹先生、新潟大学医学部公衆衛生学教室 林 千治先生、新潟大学医学部内科学第一教室 柴田 昭先生に深く感謝いたします。また、この研究の一部は石本記念デサントスポーツ科学振興財団第14回研究助成金によってまかなわれた。ここに謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 豊嶋英明, 田辺直仁, 林 千治, 宮西邦夫, 和泉 徹, 柴田 昭, 尾崎信紘, 山本朋彦, 藤原満喜子, 大宮國廣: 中小都市における循環器疾患予防のための環境整備. 心臓, 25: 1094~1098, 1993.
- 2) 荒川規矩男, 河合忠一: 運動療法の実際. p. 59~84, 南江堂, 1991.
- 3) 高久史麿, 中村治雄: 高脂血症. p. 122~127, 南江堂, 1991.
- 4) 相崎俊哉, 和泉 徹, 柴田 昭, 佐藤則明, 林 千治, 豊嶋英明: 運動強度および心電図の24時間同時記録システム. 医用電子と生体工学, 32: 83~90, 1994.
- 5) 山田誠二, 馬場快彦: 加速度計を利用したカロリーカウンタによる身体活動エネルギー量測定の有効性. 産業医学, 32: 253~257, 1990.
- 6) 林 千治, 山上里美子, 野上春美, 田中明美, 青梅明美, 政二文明, 宮西邦夫, 相崎俊哉, 田辺直仁, 船崎俊一, 和泉 徹, 柴田 昭, 豊嶋英明: 簡易運動量測定器による運動量測定の意義について. 日循協誌, 2: 118~124, 1993.
- 7) 山田誠二, 馬場快彦: 運動強度を加味したカロリーカウンタによる運動時消費エネルギーの測定. 産業医科大学雑誌, 12: 77~82, 1990.
- 8) アメリカスポーツ医学協会編, 日本体力科学編集委員会監訳: 運動処方指針. 第4版, p. 282~292, 南江堂, 1993.
- 9) 日本循環器学会“運動に関する診療基準委員会”: 運動療法に関する診療基準. Jpn. Circulation J., 55 (suppl III): 385~390, 1991.
- 10) 柳堀朗子, 青木和夫, 鈴木洋司, 郡司篤晃: 1日の日常生活活動量測定方法の検討. 日本公衛誌, 38: 483~491, 1991.
- 11) 豊嶋英明, 林 千治, 田辺直仁, 船崎俊一, 宮西邦

夫：運動と虚血性心疾患の関係について—運動の抗動脈硬化要因と心筋梗塞発生の要因としての2面性—。臨床成人病, **20**: 1773~1776, 1990.

- 12) **Paffenbarger, R.S. and Hyde, R.T.**: Exercise in the Prevention of Coronary Disease. Preventive Medicine, **13**: 3~22, 1984.
- 13) **Slattery, M.L., Jacobs, D.R. and Nichaman, M.Z.**: Leisure Time Physical Activity and Coronary Heart Disease Death. Circulation, **79**: 304~311, 1989.
- 14) **Kannel, W.B., Belanger, A., D'Agostino, R. and Israel, I.**: Physical Activity and Physical Demand on the Job and Risk of Cardiovascular Disease and Death: The Framingham Study. American Heart Journal, **112**: 820~825, 1986.
- 15) **Tuomilehto, J., Marti, B., Salonen, J.T., Virtala, E., Lahti, T. and Puska, P.**: Leisure-Time Physical Activity is Inversely Related to Risk Factors for Coronary Heart Disease in Middle-Aged Finnish men. European Heart Journal, **8**: 1047~1055, 1981.

(平成8年1月23日受付)
