

学位論文題名

加速度計付 Activity monitor を用いた

エネルギー消費量推定法の妥当性

— Respiratory Chamber を用いた評価 —

学位論文内容の要旨

生活習慣病の対策は公衆衛生上の重要課題の一つである。その予防や治療のキーポイントは、日常の身体活動量にある一定のレベルに向上、維持することであり、活動の強度、時間を正確に把握することの重要性が指摘されている。また肥満は摂取および消費エネルギーのアンバランスが一因となる為、栄養学的知見からその予防を考えた場合、日常で消費されるエネルギー量を把握した上で目的に応じたエネルギー摂取量を設定することが必要であり、エネルギー消費量の測定は重要な意味をもっている。さらに最近の研究で、肥満の予防の為には日常生活で繰り返される非随意的かつ低強度の身体活動によるエネルギー消費量 (NEAT) がキーポイントであることが示唆されている。このように、肥満関連疾病のコントロールには、身体活動に関する種々のインフォメーションをモニタリングすることが必須であり、一日の総エネルギー消費量および身体活動レベルを正確に評価することのできる利便性の高い方法の開発が望まれている。

エネルギー消費量測定ゴールドスタンダードの一つに、Respiratory chamber (RC) 法がある。RC 内で測定された身体活動量は日常生活のそれをよく反映し、ここでの情報は日常生活活動を把握するのに十分参考となることが確認されている。しかし、本法の施行には専門施設と専門知識を有するオペレーターが必要であり、一般化は困難であると考えられる。

一日の総エネルギー消費量と身体活動の簡易な客観的評価法の一つとして、歩数計や加速度計を応用した Activity monitor (AM) が注目されている。歩数計に関しては、その簡単な操作性と比較的低いコストが長所であり、最近の縦断的介入研究では、一日の歩数が移動性の活動量を反映する興味深い指標であることも示唆されている。しかし、歩数が身体活動エネルギー消費量を反映するか否かの検討は不十分である。一方、加速度計法のエネルギー消費量推定の妥当性は主に移動性の活動時の検討により証明されている。しかし、日常生活下で 24 時間もしくはそれ以上の長期間の評価の妥当性については十分なエビデンスはない。また、日常生活下の身体動作の検出には、単軸加速度よりも 3 軸加速度が優れていることが先行研究で示唆されており、エネルギー消費量推定との関連性は興味深い。また、本機器より導出される加速度指標に関しては、各製造社独自の基準と表記法を採用しており、必ずしも実際の現場で有用性が高いとは言い難い。エネルギー消費量との関連性から運動強度別の加速度指標区分基準が提示されれば、疫学的調査には勿論のこと臨床指導現場で有効なツールと成り得る可能性がある。

そこで本研究は、日常生活におけるエネルギー消費量および身体活動量の簡易モニタリング法の開発を意図して、主に RC 法で測定したエネルギー消費量との比較により検討を行った。RC 法の実験プロトコルは、被検者は RC 内に 24 時間滞在するものとし、トレッドミルを用いた 2 回の歩行運動(傾斜 0%で 3.9km/h、5.1km/h の速度で各 30 分ずつ)以外の身体活動は制限することなく自発的なものとした。

研究 1 では、単軸加速度計付 AM (Lifecorder、スズケン社製、名古屋) の身体活動エネルギー消費量 (PAEE) 及び一日の総エネルギー消費量 (TEE) の評価の妥当性の検討を目的とし、日本人 79 名 (40+/-12 歳) を対象とした。その結果、加速度計法では TEE、PAEE とともに実測値に比して有意に低値であったが、それぞれ実測値との間に有意な相関関係が認められた ( $P<0.001$ )。また、その個体間の相対誤差は小さかった(変位係数が 5.9%)。相対的な推定誤差を小さくするために、本研究で得られた簡易補正值(つまり TEE で 8%)を適用できることが示唆された。

研究 2 では、本機器より導出される加速度指示強度を METs 強度に応じて区分することとした。男性 10 名を対象にトレッドミル(傾斜 0%)を用いて各速度 4 分間の歩行(2.4、3.3、4.2、5.1、6.0、6.9 km/h)および走行(7.8、8.7、9.6 km/h)運動を実施し、ダグラスバック法を用いてサンプリングした呼気ガスより METs 値を算出した。その結果、歩行運動中の加速度指示強度と METs との間に有意な相関関係が認められ ( $P<0.001$ )、METs 強度に応じた 3 レベル(低・中・高強度)の加速度指示強度カテゴリーを開発した。

研究 3 では、2 種の加速度計のエネルギー消費量の推定精度を比較することを目的とし、日本人 16 名 (40+/-12 歳) を対象とした。ここでは単軸加速度計に加え、3 軸加速度計 (Tritrac-R3D、Hemokinetics Inc.、Madison) も同時に装着した。その結果、被検者個々でエネルギー消費量とそれぞれの加速度指標との間に有意な相関関係が認められた(単軸:  $r=0.67-0.89$ 、3 軸:  $r=0.74-0.95$ )。しかし、両加速度計による PAEE 推定値は実測値に比して、単軸で 10%、3 軸加速度計で 55%有意に低かった。これらのことより、本単軸加速度計が 3 軸加速度計と比して優るとも劣らない手法であり、NEAT を含めた低強度の活動も比較的よく評価できることを示唆された。また、重要なこととして、測定する加速度軸数よりもむしろ加速度をエネルギー消費量に換算するアルゴリズムの工夫がその推定精度を決定する重要な因子であることを示唆した。

研究 4 として、歩数計測によりエネルギー消費量を評価できるかを調査することを主目的とし、日本人およびヨーロッパ人合計 95 名を対象とした実験を実施した。歩数の計測には妥当性が証明されている加速度計 (Lifecorder、スズケン社製、名古屋) を用いた。加速度の計測には高精度の加速度センサーとデータロガーで構成されるオリジナルの加速度計 (SCAM、Lausanne 大学) を用い、身体動作による加速度信号は平均平方根 (RMS) が計算された。PAEE を目的変数とした重回帰分析の結果、体重が第一説明変数として採用され、加速度が第二変数とされ決定率が 8%有意に向上した。しかし、歩数は棄却された。以上のように、加速度は、身体サイズを加味することで身体活動量を実質的に反映する重要な指標と成り得ることが示唆された。一方で歩数は、一元的に身体活動を評価する手法であり、日常生活下での断続的かつ様々な強度の身体動作を反映できず、正確にエネルギー消費量を推定することは困難であると考えられた。

以上の通り、本研究で用いた単軸加速度計は、日常のエネルギー消費量を過小評価する可能性があるものの、個々人の日常の身体活動量とそのエネルギー消費量の評価法として妥当であると考えられる。さらに、METs 強度に応じた運動強度毎の加速度指示強度の区分基準を開発し、これは疫学的調査には勿論のこと、健康指導の現場で個々人の身体活動のパターン(強度、頻度、時間)に

に基づいた運動習慣の形成のための指導に応用できると考えられる。加速度計法は、機器の測定制限の理解および運用の改善如何で肥満や生活習慣病の予防や治療の為の疫学調査および臨床介入で高いパフォーマンスを発揮できると期待できる。

# 学位論文審査の要旨

主 査 助 教 授 石 井 好 二 郎  
副 査 教 授 須 田 力  
副 査 教 授 河 口 明 人  
副 査 教 授 田 中 宏 暁

(福岡大学スポーツ科学部)

学 位 論 文 題 名

## 加速度計付 Activity monitor を用いた エネルギー消費量推定法の妥当性

－ Respiratory Chamber を用いた評価 －

肥満をはじめとする生活習慣病の対策の為、一日のエネルギー消費量および身体活動の強度、時間を正確に把握することの重要性が指摘されている。2004年に世界保健機構(WHO)より提唱された「食事と身体活動と健康に関する包括的な戦略」でも身体活動をそれら疾病の予防・治療の最重要ポイントと位置づけ、日常の身体活動量を客観的に評価する方法の開発を重要課題の一つとしている。

本研究では、主に、加速度計を応用した Activity monitor による一日のエネルギー消費量および身体活動量の評価法に関して、日常エネルギー消費量測定ゴールドスタンダードの一つである Respiratory chamber 法を妥当基準にそのパフォーマンスを究明している。なお、日本人を対象として Respiratory chamber 法を用いた研究としては初の試みであった。

本研究では最初に文献研究を行い、日常の身体活動を評価することの意義とその方法を詳細にレビューしている。その中から一日の総エネルギー消費量と身体活動量を客観的に評価できる簡易法の一つとして加速度計を応用した Activity monitor(身体活動記録装置)に着目し、日常生活におけるエネルギー消費量および身体活動量の簡易モニタリング法への応用を意図して次の研究を実施している。

研究1では、単軸加速度計付 Activity monitor の身体活動エネルギー消費量ならびに一日の総エネルギー消費量の評価の妥当性を検討している。先行研究で加速度計法のエネルギー消費量推定の妥当性は主

に歩走行時の検討により証明されているが、日常生活下で24時間もしくはそれ以上の長期間の評価の妥当性については十分に検討されていない。本加速度計法では総消費量、活動量を過小評価しつつも実測値に対して強い相関関係を得ている。このことは、本法の精度を上げること、すなわち計算アルゴリズムの修正や個人毎の適切なキャリブレーションを加えることでより有効なツールに発展する可能性を示す研究結果を提示している。

研究2では、本機器より導出される加速度指示強度をMetabolic Equivalents(METs)強度に応じて低・中・高強度の3レベルの加速度指示強度カテゴリーを示している。これは、日常の身体活動を客観的にモニタリングでき、疫学調査や臨床現場にも応用できる利便性の高いユニバーサルな指標を開発したものと位置づけることができる。

研究3では、単軸および3軸加速度計の身体活動エネルギー消費量の推定精度を比較し、本単軸加速度計が3軸加速度計と比して低強度の活動もよく評価でき、日常生活活動のモニタリングに優れていることを示唆している。先行研究で日常生活下の身体動作の検出には、単軸加速度よりも3軸加速度が優れていることが示唆されているが、エネルギー消費量を評価する際には、測定する加速度軸数よりもむしろ加速度をエネルギー消費量に換算するアルゴリズムの工夫がその推定精度を決定する重要な因子であると考察し、比較的安価で作成可能な単軸加速度計の公衆衛生学面での可能性を示した。

研究4では、歩数が身体活動エネルギー消費量を反映するかを加速度のエネルギー消費量評価に対する実質的な寄与も加えて検討している。加速度は、身体サイズを加味することで身体活動量を反映する重要な指標と成り得ることを示唆しており、それは物理学的理論で説明できると考察している。すなわち、歩数だけでなく加速度を加味することで、エネルギー消費量の推定が飛躍的に向上することを示した。

以上本論文では、本単軸加速度計法は日常のエネルギー消費量を過小評価する可能性があるものの、個人毎の日常の身体活動量とそのエネルギー消費量の評価法として妥当であることを証明した。さらに、METs強度に応じた加速度指示強度の区分基準を開発したことは、肥満や生活習慣病の予防や治療の為の疫学調査および臨床介入で有用であるものと考えられ、社会的な貢献度も高い。既にこの加速度指示強度区分基準は心臓リハビリテーションと肥満に関する疫学研究(Ayabe M et al., 2004, J Cardiopulm Rehabil, 24, 80-86; Yoshioka M et al., 2005, Int J Obes Relat Metab Disord (In press: Jan 11; [Epub ahead of print]))に採用されており、本研究の成果の価値の高さを示すものである。また、本法を応用することで、一般人の健康教育を主とした生涯学習にも応用できる可能性が期待でき、汎用性と一定の正確性を備えた方法であることは高く評価できる。

また、本論文内の研究は、生活習慣病の運動処方に関連しても高く評価されており、筆者は、専門学術雑誌の総説(「生活習慣と高血圧症—運動習慣の改善と運動療法—」保健の科学, 2004, 46: 909-915)の執筆も担当している。

よって、筆者を北海道大学博士(教育学)の学位を授与される資格があるものと認める。