

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 1 日現在

機関番号：13601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2012

課題番号：22650125

研究課題名（和文） 糖尿病の運動療法に活用可能な簡易有酸素運動能力評価法と「基準値」の確立

研究課題名（英文） Recommendations for simple exercise capacity evaluation for use in exercise therapy in patients with diabetes mellitus.

研究代表者

大平 雅美 (OHIRA MASAYOSHI)

信州大学・医学部・教授

研究者番号：50262738

研究成果の概要（和文）：糖尿病やメタボリックシンドロームの予防、治療手段として運動、日常活動量を増やすことが重要である。その際、対象者の活動量、体組成や有酸素運動能力を簡便に評価できる運動能力検査法を利用することが望ましい。日々の活動量は質問紙法の IPAC、体組成は生体インピーダンス法で、有酸素能力は 8 m シャトルウォークテストまたは連続立ち上がりテストが、それぞれの簡易評価法として使える。

研究成果の概要（英文）：For the treatment and prevention of diabetes or metabolic syndrome, increasing the patient's exercise and daily activity is important. Therefore, it is necessary to use simple procedures to evaluate the patient's amount of activity, body composition and aerobic capacity. The recommended evaluation procedures include the IPAC for amount of daily activity, bio-impedance analysis for body composition, and 8m shuttle work test and sit-to-stand for aerobic capacity.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,000,000	0	2,000,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	300,000	3,300,000

研究分野：理学療法

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：糖尿病、メタボリックシンドローム、身体活動量、体組成、有酸素運動能力

1. 研究開始当初の背景

糖尿病 (diabetes mellitus; 以下 DM とする) やメタボリックシンドローム (metabolic syndrome; MS) 該当者、予備軍が増え、冠動脈疾患や脳卒中を発症するリスクを高めることから問題視されている。わが国においては、40 歳以上男性の 2 人に 1 人、女性の 5 人に 1 人が MS 該当者、予備軍のとなり、DM 患者、あるいはその疑いのある者は 2,210 万人と推計されている。その為、2008 年から

始まった特定健康診査・特定保健指導では、これらの予防・改善に対する取り組みが実施されている。その効果的な手段として、身体活動 (physical activity; PA) の増加が推奨されている。これは、1990 年代以降、生活習慣病予防・治療に有酸素運動能力 (cardio respiratory fitness; CRF または aerobic capacity)、筋量そして身体活動 (physical activity: PA) の向上が有効であることが明らかにされているためである。

PA とは、「安静にしている状態より多くのエネルギーを消費する全ての動きのこと」と定義され、単一動作から日常活動のすべてを含む。DM、MS の原因のひとつである肥満は、PA の低下により 1 日の総エネルギー消費量 (total daily energy expenditure : TEE) が減少することが一因とされている。したがって、DM、MS の予防・改善には運動、スポーツや日常生活活動を通じて PA を増やすことが望ましいが、PA を適切に評価することは容易ではない。

PA 測定ゴールドスタンダードは、メタボリックチャンパー法であるが、実験設備が高価な上、多人数を測定するのは現実的に不可能である。間接的 PA 評価法として呼気ガス測定法や二重標識水法があるが、これらも評価できる PA の種類やコストの問題で、多人数の測定には適していない。また、比較的安価に測定できる方法として、心拍数記録法もあるが、長期間の PA 測定では、被験者への負担が大きくなる。そこで、近年の PA 調査では、妥当性、信頼性、定量性にも優れた加速度記録法が汎用されている。また、質問紙法は経済性に優れており、標準化された質問紙法が、加速度計法と併せて用いられている。

これまでに多くの質問票が開発され、疫学調査などに利用されている。近年、世界保健機関のワーキンググループが作成した国際標準化身体活動質問票 (International Physical Activity Questionnaire: IPAQ) が利用されている。IPAQ は、平均的な 1 週間における高強度および中等度の PA を行う日数と時間を質問するものである。工作中、移動中、家庭内、余暇時間などの生活場面別に質問する Long Version (以下 LV) と、強度別のみで質問する Short Version (以下 SV) の 2 種類がある。PA のエネルギー消費量を算出することが可能で、従来の質問票と比較して信頼性、妥当性は同等以上とされ、PA の国際比較にも活用されている。

体組成とは、身体の成分組成のことで体脂肪 (body fat : BF)、骨、除脂肪組織の 3 要素に分けられる。BF は男性で体重の約 15.0%、女性で 27.0% を占めるとされている。近年、BF が MS の発症原因となることが明らかにされている。また、除脂肪組織量の大半は骨格筋量 (muscle mass : MM) であり、男性、女性それぞれ体重の約 44.7%、女性で 36.0% を占めている。MM の減少は基礎代謝を低下させ BF の増加に繋がる。また、BF は肥満の指標としても用いられている。

わが国では、肥満の指標として body mass index (BMI)、腹囲、ウエスト・ヒップ比が広く使われている。日本肥満学会は肥満の判定基準として、BMI、腹囲、内臓脂肪面積を用いているが、BMI が高値でも肥満と見なさない場合もある。また、腹囲は腹部の外周を

測定するため、BF、MM 双方を反映することになる。さらに、女性では腹囲が低値でも BF が多い場合もある。

内臓脂肪面積は、腹部 CT 像から算出され妥当性の高い評価方法とされているが、コストやマンパワーの面でも、多人数を測定することは難しく、体組成を適切に評価することは、PA と同様に容易でない。

体組成評価法として、二重エネルギー放射線吸収法、水中体重法、空気置換法が妥当性の高い評価法とされているが、これらは高価な設備が必要で、大人数を対象とした評価には向かない。保健、医療の現場では、生体電気インピーダンス (bioelectric impedance analysis : BIA) 法が、簡便かつ安価に測定できる方法として用いられているが、測定誤差が指摘されていた。近年、BIA 法で簡便に測定出来る体組成計が開発され、高い精度と再現性を有する体組成評価が可能となっている。

体組成と PA との関係では、PA が多いほど除脂肪量と BF に関連して基礎代謝率が高く、運動介入により有意に BF、除脂肪量に改善が認められている。また、Westerterp は 1 日の平均代謝率および基礎代謝率と体脂肪率の関係についてメタ解析している。しかし、

体組成と MM についての検討はされていない。また、IPAQ を用いた研究では BMI やウエスト・ヒップ比、皮下脂肪厚から推定した BF との関係が報告されているが、BIA を用いて BF および MM との関係を報告した研究はほとんどない。

若年者は生活習慣に問題がある場合も多く、Zsolt らは、大学卒業時と 4 年後の体組成および全身持久性体力を調査して、体重、BMI、BF といった肥満因子の増加や体力の低下が生じるとしている。また、大学同窓生を対象として、冠動脈疾患や脳卒中の発症リスクについて追跡調査した研究では、PA のレベルによって発症リスクが異なることが明らかにされている。したがって、若年者における体組成と PA の関連性を把握することは重要である。

PA、MM などの体組成と同様に、客観的 CRF 測定には高額な測定機器が必要で、DM や MS への介入現場にはあまり普及していない。一方、呼吸・循環器疾患領域ではシャトルウォーキングテスト (shuttle walking test ; SWT) が簡易 CRF 測定法として定着しつつあるが、10m シャトルの歩行速度 (特にレベル 10 以降) が日本人には速すぎる可能性がある。また、下肢筋力、筋量の簡易評価法として椅子立ち上がり (sit to stand ; STS) テストの応用が試みられているが、簡易 CRF 評価に用いた報告はごくわずかである。

専門施設で CRF を評価する心肺運動負荷

試験では、トレッドミルや自転車エルゴメーターを用いることが多いが、高価な機器と熟練が必要で、高齢者や運動障害を有する者には実施困難な場合が少なくない。STS 運動は起立頻度や座面高を変えることで比較的容易に運動負荷強度を調整でき、簡易 CRF 評価法として応用可能か否か検討する。これまでの報告では、STS 運動を用いた下肢筋力の推定が勧められているが(運動の指針 2006)、運動耐容能の推定の報告はごく僅かである。

2. 研究の目的

(1) 質問紙法である IPAQ を用いて調査した若年者の身体活動量と、BIA 法で測定した体脂肪率、骨格筋量との関係を検証することである。若年者の身体活動量と体脂肪率および骨格筋量を把握する。次に、DM 患者と比較する。これらは DM、MS 予防に関わる基礎情報となる。また、IPAQ が体脂肪率および骨格筋量を把握する簡易的な手段となる可能性が期待される。

(2) 標準的コース(10m シャトル)と短縮コース(8m シャトル) SWT 中の酸素摂取量動態から、簡易 CRF としての SWT の適正を検討する。

(3) 若年健常者を対象に、起立頻度を変え負荷強度を調整した STS テスト中の酸素摂取量動態を測定し、STS が簡易 CRF 評価として応用可能か検討する。

3. 研究の方法

(1) 研究 1

18 歳以上 30 歳未満の健常な男女 60 名(男性 25 名、女性 35 名、平均年齢 20.8 ± 2.5 歳)を対象とした。体脂肪率および骨格筋量の測定には、ボディコンポジションアナライザー InBody430 (バイオスペース製)(図 1)を使用した。InBody430 は、8 点接触電極、多周波数(50、250kHz)解析の BIA 法を用いている。被験者から重い衣服やアクセサリー類を外し、出来るだけ軽装で測定した。電解質ティッシュにて手指、手掌、足底を拭き、足電極に素足で乗り、立位にて手の電極を握り、脇が体幹に接触しないように、また、両下肢が大腿部に接触しないように測定した。データはパーソナルコンピューターに取り込み、用ソフトにて解析を行った。また、正確な測定のために、以下のことに注意した。

- ・測定前に運動したり入浴したりしない。



図1 InBody430

- ・測定の前に食事をしない。
- ・測定前に排尿、排便をしておく。
- ・アクセサリー類は取り外して出来るだけ軽装で測定する。
- ・測定前は 5 分間立っている。
- ・生理中は測定を避ける。
- ・室温は 20°C から 25°C で測定する。

PA は、IPAQ 日本語版 LV を用いた。1 週間の身体活動量を、各身体活動に相当する活動強度、時間、日数に基づき算出し、1 日の平均値に換算した。さらに、以下の式により PA を算出した。

$$\text{計算式: 活動量 (kcal/日)} = \frac{\text{身体活動量 (Mets} \times \text{min/日)} \times 3.5 \text{ml/kg/min} \times 0.005 \text{kcal/ml} \times \text{体重 (kg)}}{\text{体重 (kg)}}$$

基本的な身長、体重、BMI、腹囲も測定した。腹囲は、測定部位を臍位とし立位呼気時に、非伸縮性の巻尺を用いて測定した。腹囲の測定は 2 回実施し、その平均値を算出した。

55 歳から 82 歳の DM 患者 13 名(男性 9 名、女性 4 名、平均年齢 69.0 ± 7.7 歳)に IPAQ を除いた同様の測定を行った。統計解析は、統計解析ソフト SPSS 13.0J for Windows を用い、IPAQ で調査した身体活動量と体脂肪率および骨格筋量の関係について、Spearman の順位相関係数にて分析した(有意水準は 5% 未満)。

(2) 研究 2

20 歳以上 30 歳未満の健常な男性 9 名(平均年齢 22.7 ± 3.4 歳)を対象とした。SWT のコーン間隔が通常の 9m と 7m のシャトルコースでオリジナルの CD に合わせて SWT を実施した。テスト中は呼気ガス分析装置(AT-1100、アニマ製、図 2)を装着し、breath by breath で酸素摂取量、炭酸ガス排泄量、心拍数他を測定した。また、全身、下肢疲労感を Borg Scale (オリジナルスケール)で評価した。



図2 呼気ガス分析装置(AT1100)

(3) 研究 3

20 歳以上 30 歳未満の健常な男性 10 名(平均年齢 21.7 ± 1.5 歳)を対象とした。

STS テストの準備段階として、起立頻度を 6

回/分から 6 回/分ずつ増やし、3 分間の安静を挟んで各々 5 分多段階反復起立運動負荷プロトコルで立ち上がり負荷テスト中の呼気ガス分析を行った（酸素摂取量、炭酸ガス排泄量 他）。運動負荷中の心拍数、血圧のモニタリングを行い、%予測最大心拍数（各起立頻度の終了 30 秒間の平均値±標準偏差）、運動終了時の全身、下肢疲労感を Borg Scale（オリジナルスケール、中央値±四分位偏差）で評価した。

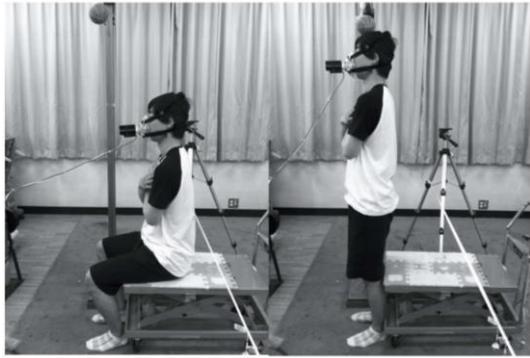


図3 多段階反復起立運動

統計解析は、統計解析ソフト SPSS 13.0J for Windows を用い、起立頻度と酸素摂取量の関係性を確認するために相関分析を行った。

起立頻度から酸素摂取量を推定するために起立頻度を独立変数、酸素摂取量を従属変数とした回帰分析を行った（危険率 $p < 0.05$ で有意とした）。

4. 研究成果

(1) 研究 1

対象者の特性は BMI $20.5 \pm 2.9 \text{ kg/m}^2$ 、腹囲 $73.8 \pm 8.2 \text{ cm}$ 、IPAQ 活動量 243.8 ($82.5 - 633.7$) kcal/日、体脂肪率 20.9 ($16.3 - 27.7$) %、骨格筋量 21.6 ($19.0 - 27.7$) kg であった。

表 1 IPAQ と体脂肪率および骨格筋量の相関

	体脂肪率 (%)	骨格筋量 (kg)
IPAQ		
歩行 (Mets×分/週)	-0.002	-0.03
中等度 (Mets×分/週)	-0.11	0.01
高強度 (Mets×分/週)	-0.29*	0.45**
仕事中 (Mets×分/週)	-0.20	0.07
移動中 (Mets×分/週)	0.001	-0.06
家庭内 (Mets×分/週)	-0.22	0.09
余暇時間 (Mets×分/週)	-0.29*	0.39**
活動量 (kcal/日)	-0.20	0.28*

表 2 生体電気インピーダンス (BIA) 法で求めた非肥満 DM 患者と若年健常者の骨格筋量などの比較

	体重 kg	身長 m	BMI
非肥満糖尿病患者	56.4 ± 10.9	1.64 ± 0.1	21.9 ± 3.3
若年健常者	56.1 ± 11.5	1.60 ± 0.1	20.7 ± 3.2
	体脂肪量 kg	骨格筋量 kg	骨格筋率 %
非肥満糖尿病患者	$15.5 \pm 6.5 *$	$22.2 \pm 3.3 *$	$39.7 \pm 3.4 *$
若年健常者	11.6 ± 5.7	24.5 ± 5.6	43.6 ± 4.8

* $p < 0.01$
 非肥満糖尿病患者 69 ± 7.7 歳、若年健常者 20 ± 2.3 歳

IPAQ と体脂肪率および骨格筋量の関係は、IPAQ による高強度の身体活動量と骨格筋量に中等度の有意な相関が認められた ($\rho = 0.45$)。また、余暇時間および活動量と骨格筋量には弱いながら有意な相関が認められた (余暇時間; $\rho = 0.39$ 、活動量; $\rho = 0.28$)。体脂肪率は、高強度および余暇時間の身体活動量と弱いながら有意な負の相関が認められた (高強度; $\rho = -0.29$ 、余暇時間; $\rho = -0.29$) (表 1)。

糖尿病患者 13 名 (69.0 ± 7.7 歳) の骨格筋量、骨格筋率はそれぞれ $22.2 \pm 3.3 \text{ kg}$ 、 $39.7 \pm 3.4\%$ と若年健常者に比べ有意に少なかった ($p < 0.01$ 、表 2)。

(2) 研究 2

対象者 9 名全員が 10mSWT、8mSWT を level12 まで終了した。呼気ガス分析により AT が確認できたのは 10mSWT 6 例 (67%)、8mSWT 9 例 (100%) で、二つの SWT で AT が確認できた 6 例では有意差は認められなかった。

SWT 終了時の下肢 Borg scale は全身のそれよりも高い傾向にあった。

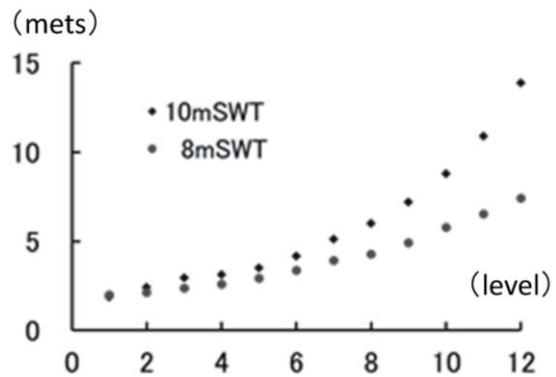


図 4 10mSWT と 8mSWT 中の各レベルにおける負荷強度 (メッツ)

(3) 研究 3

本研究では、反復起立運動の坐位、立位姿勢を図 3 の様に規定して、対象者の姿勢の違いによる負荷強度のバラツキを最小限にした。対象者は両足を肩幅で立ちやすい位置に置き、座面高は腓骨頭上縁の高さとした。

同様に、起立動作は、胸の前で腕を組み、立位時は頭がボールに触れ、座位時は背中の一部がゴムひもに触れる様にした。

反復立ち上がり動作は、一般的な運動負荷試験の中止基準に該当した時、予測最大心拍数予備能の 80% に達した時、立ち上がり動作がメトロノームの発音音から連続して 3 動作遅れた時、酸素摂取量 (V_{O2}) の定常状態が確認できなくなった場合 (5 分後の $V_{O2} - 3$ 分後の $V_{O2} > 0$) に終了とした。

全ての対象者 (10 例) が、反復立ち上がり動作中に酸素摂取量の定常状態が確認できなくなったために STS を終了した。その時の

Borg scale は全身 15、下肢 13 であった。

各々 5 分間の反復立ち上がり動作中に、心拍数が定常状態に成らなくなった立ち上がり頻度は、24 回/分が 2 名、30 回/分は 6 名、36 回/分が 2 名であった。

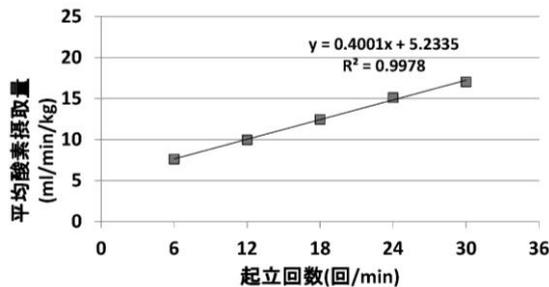


図5:起立頻度と酸素摂取量の関係

起立頻度を 6 回/分から 6 回/分ずつ増やすと、酸素摂取量が直線的に増加することが確認できた。今回の起立条件を用いた場合、反復起立運動は簡易 CRF 試験として応用可能で、運動耐容能評価に利用できることが示唆された。

本研究の目的は、既存のツールを用いて、保健・医療の現場で使い易い PA、体組成や CRF の簡易評価法を考案する事であった。

IPAC は簡便に対象者の PA をとらえ、BIA 法で求めた骨格筋量とは、弱いながら正の相関、体脂肪量とは同じく負の相関を有していた。この事は、IPAQ で体組成を推定できる可能性をうかがわせた。また、高齢 DM 患者では、若年健常者とほぼ BMI が等しい場合も骨格筋量低下していた。

IPAQ による高強度あるいは余暇時間の身体活動量が多い場合、体脂肪が少なく骨格筋量が高い傾向にあった。IPAQ を用いた先行研究では、高強度および余暇時間の身体活動量とウエスト・ヒップ比、中性脂肪、HDL コレステロールの相関が報告されている。これらから、IPAQ で求めた一部の身体活動量は、体脂肪率および骨格筋量と関連している可能性がある。

DM や MS の病態改善・身体活動性向上を目的とした運動療法に有用な簡易運動能力評価システムとして SWT、歩行能力の低下した者でも実施可能な CRF 評価法として SWT あるいは STS を用いる方法を検討した結果、8mSWT と STS が簡易 CRF 評価法として使える可能性が示唆された。

SWT は、9m 間隔の 2 本のコーンの間を、速度を高めつつ往復する漸増運動負荷試である。今回は DM 患者などでも実施可能な歩行速度として、一部はコーン間隔距離を 7m (8mSWT) と短くした変法でも測定した。STS は、椅子座面の高さの漸減、立ち上がり頻度の漸増による負荷強度調整の長・短所から、

中・高齢有疾病者の膝関節へ過負荷を避けるため立ち上がり頻度漸増法を採用した。

SWT では、通常の 10mSWT と 8mSWT で歩行距離、AT 及び終了時の Borg scale 等を健常成人で測定した。同一対象に対する各測定は 1~2 週間の間隔を空けて行った。その結果、10mSWT と 8mSWT 終了時の歩行距離、RPE に差は無かったが、8mSWT の方が AT 判定が容易で下肢疲労の影響が少ない傾向を示した。SWS、STS は共に簡易 CRF 測定法として有用であるが、評価終了時の運動強度の低さ、AT 判定率から STS の方が簡易測定法として望ましい可能性が示唆された。STS では、健常成人を対象の場合、立ち上がり回数を 6 回/分毎に漸増させることで、ほぼ直線的に酸素摂取量を増加させることが出来た。

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)

[学会発表] (計 2 件)

- ① 中村慶佑, 大平雅美, 横川吉晴. 多段階反復起立運動の酸素摂取量一起立動作を利用した運動耐容能評価の予備的研究。第 48 回日本理学療法学会大会, 2013.05.25, 名古屋
- ② 河合 克尚, 亀山 咲子, 横川 吉晴, 大平雅美. 若年者における体脂肪率および骨格筋量と質問紙法による身体活動量の関係, 第 47 回日本理学療法学会大会, 2012.05.27, 神戸

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大平 雅美 (OHIRA MASAYOSHI)
信州大学・医学部・教授
研究者番号: 50262738

(2) 連携研究者

横川 吉晴 (YOKOKAWA YOSHIHARU)
信州大学・医学部・准教授
研究者番号: 50362140

三好 圭 (MIYOSHI KEI)
信州大学・医学部・助教
研究者番号: 30293509