

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 11 日現在

機関番号：23903

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23650436

研究課題名（和文）階段昇降運動による食後高血糖症状の緩和と糖代謝機能の改善

研究課題名（英文）Alleviation of postprandial hyperglycemia and improvement of blood glucose metabolism by a stair climbing-descending exercise

研究代表者

高石 鉄雄（TAKAISHI TETSUO）

名古屋市立大学・大学院システム自然科学研究科・教授

研究者番号：50216610

研究成果の概要（和文）：糖尿病患者や耐糖能異常を示す人では、血管系障害予防のため、食後に上昇した血糖値を速やかに下げる必要がある。それには食後1時間程度の歩行が有効であるが、仕事を持つ人が日常的にその時間を確保することは難しい。本研究は、20段程度の階段を利用して階段昇降運動を短時間繰り返すことで比較的体への負担なく効率的に血糖値を下げることを明らかにした。また、同運動を一定期間継続した場合、耐糖能の改善が得られる可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：People with diabetes mellitus or impaired glucose tolerance need to reduce blood glucose level immediately after eating. A walking for about 1 hour after eating is effective to reduce blood glucose level. However, it is difficult for most of full time workers to have time for such a walking every day. This study clarified that a short bout of stair climbing-descending exercise with a flight of stairs with about 20 steps effectively reduce blood glucose level without a feeling of fatigue. In addition, this study suggested that an exercise intervention for a certain period of time with the stair climbing-descending exercise leads to an improvement of glucose tolerance.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,000,000	600,000	2,600,000

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学 ・ 応用健康科学

キーワード：糖尿病 合併症 身体的自立 要介護予防 大血管障害

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 糖尿病は、小血管障害による3大合併症のみならず心筋梗塞や脳梗塞などの大血管障害の原因となるため、食後に上昇した血糖値をウォーキングなどで速やかに下げる必要がある。

(2) フルタイムで働く事務系労働者などでは、日々そのような時間を確保することは難しく、自転車エルゴメータなどの運動負荷装置を用いることなく手軽に短時間で効果的に血糖値を下げる運動方法の開発が望まれるが、そういった方面からの体力科学的研究はない。

## 2. 研究の目的

本研究は、生活習慣病予防に対する「運動」の効果を解明する研究に該当し、短時間の階段昇降運動によって食後の血糖値がどの程度低下するか、更に、同運動によって血糖値を下げるのが、「食後高血糖症状」の軽減あるいはインスリン感受性の改善に結びつくか否かを明らかにすることを目的とする。

## 3. 研究の方法

## (1) 血糖値変化量比較研究

糖尿病患者および食後高血糖症状を呈する人合わせて10名（年齢55.5±8.0歳、BMI 24.2

±3.2 kg/m<sup>2</sup>、空腹時血糖値 99±14 mg/dl、HbA1c値 5.9±0.4%)を被験者とする。

① 測定1日目は普段通りの朝食を朝7時30分までに摂るよう依頼し、昼食を摂らずに大学研究室に11:30までに実験室に来場してもらう。実験室到着後、15分間の座位安静の後、手指先から微量採血を行い、昼食前血糖値を測定する。12:00より、糖質、脂質、タンパク質からなる成分調整食(合計660kcal)を摂らせ、その後14:30まで座位安静とする。その間、13:00、13:15、13:30、13:45、14:00、14:30に手指先から微量採血を行い、血糖値を測定する(安静条件)。その後、心拍数測定器をつけた状態で段数20段の階段昇降運動と自転車運動を行い、各被験者の心拍数予備量の65%強度に該当する階段昇降運動の歩調および自転車運動の強度(仕事率)を決定する。

② 測定2、3日日も1日目と同じタイミングで同じ朝食、昼食を摂らせ、血糖値の測定も同様に行う。ただし、食事開始から90分の時点から測定1日目に決めた歩調による階段昇降を16回(所要時間7-8分程度;階段条件)あるいは同一心拍数強度となる仕事率での自転車運動(自転車条件)を階段昇降と同じ時間だけ実施する。階段条件と自転車条件の際には、運動終了1分後に手指先微量採血により血中乳酸値を測定する。

③ 3条件間で、血糖値の変動を比較する。

## (2) 介入研究

先の血糖値変化比較実験の被験者のうち8名を被験者とする。

① 介入前測定として朝食を摂らずに実験室に8:40までに来場させ、到着後、15分間の座位安静を取らせ、9:00までに、肘正中静脈より血液検査(インスリン値、血糖値、血清脂質値)測定用の採血を行う。

② 9:00より、実験(1)と同じ成分調整食を摂らせ、座位安静状態で食事開始から150分までの血糖値を、実験(1)と同じタイミングで測定する。

③ 介入運動として、各被験者に対し、3ヶ月間にわたって、週に4日、昼食後約90分の時点で20段の階段を16回昇降運動させる。

④ 介入期間終了後、耐糖能が改善されたかを得られたデータを使って検討する。

## 4. 研究成果

(1) 血糖値変化量比較実験における階段昇降と自転車運動の際の運動時間、心拍数強度、血中乳酸濃度はそれぞれ、7.6±0.6 および 7.7±0.6 分、62.3±7.5 および 63.4±7.6% HRR、3.5±1.1 および 4.6±1.4 mmol/L で、両運動の時間および心拍数強度には統計的な違いが認められなかったが、血中乳酸濃度については、1%水準で有意な違いが認めら

れた。

図1は、150分間にわたる血糖値変化を、安静、自転車、階段昇降の3条件で比較したものである。食事開始から90分の時点において3条件の間に統計的に有意な違いは認められなかったが、同105分の時点での血糖値は、階段昇降条件が座位安静条件および自転車条件に比べて有意に低値を示し、階段昇降運動が、他に比べて効率よく血糖値を下げる事が明らかになった。また、この際の運動分の血糖値の低下(階段昇降-座位安静)は、約60 mg/dlであった。

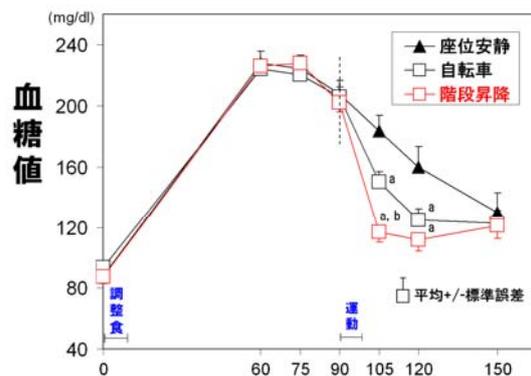


図1 調整食後の血糖値変化の比較

階段昇降運動による時間あたりの血糖値低下量は、一般的に行われている歩行に比べて約3倍、同一心拍数強度の自転車運動に比べても約2倍である。

ここまでの結果を2012年のアメリカ糖尿病学会で発表したところ、食後の消化吸収が終わった時点で血糖値を急激に下げて血管内の高血糖曝露時間を減らすという発想は非常に興味深いとのコメントを複数の参加者から得た。

また同学会では、積雪のために数ヶ月間にわたって屋外でのウォーキングができない地域に住む糖尿病患者にとって非常に有用な運動方法になる可能性があるとのコメントを北欧の研究者から得た。この評価は当方が意図していなかったものであるが、わが国にも冬期間屋外でのウォーキングができない地域は多く、研究を続ける意義を再確認した。

階段を連続して上る際の運動強度について、男性が約100歩/分、女性が約90歩/分で実際にマンションの階段を上った際に、それぞれ34.8および32.1 ml/分/kgであったとする研究報告がある。本研究は、階段昇降の上り部分がこのように高強度運動であることを利用して糖代謝を促進する一方、階段を下る際の低強度運動中に「上り」で生じた乳酸を効率的に除去し、過度に筋疲労が進

まないよう工夫した運動である。2013年6月の学会では、平均年齢72歳の男女6名の糖尿病患者についても階段昇降運動が可能であったこと、図1とほぼ同様の血糖値変化が得られたことを発表予定である。本研究室では、2012年の段階で糖尿病である75歳の男性2名について階段昇降運動が可能であることを確認済みであったため、同運動は体力値が低い人でも実践可能であると研究開始当初から考えていた。これに対し、2012年の学会では、被験者が日本人であり、その身体肥満度が24.2 kg/m<sup>2</sup>と欧米人に比較的して小さかったため、肥満度の高い欧米人にとって階段昇降運動の導入は難しいとの指摘を同学会において2人のアメリカ人研究者から受けた。

表1 身体肥満度と体重あたりの酸素消費量との関係

男性	[90歩/分] (ml/kg/分)	[110歩/分] (ml/kg/分)
BMI 21.9	18.7 ± 1.3	20.7 ± 1.7
BMI 25	18.8 ± 1.5	20.3 ± 1.5
BMI 30	19.4 ± 1.4	20.8 ± 1.5
BMI 35	20.2 ± 1.4	21.8 ± 1.3

表2 身体肥満度と体重あたりの酸素消費量との関係

女性	[90歩/分] (ml/kg/分)	[110歩/分] (ml/kg/分)
BMI 21.4	18.2 ± 1.2	19.9 ± 1.3
BMI 25	18.5 ± 1.3	19.9 ± 1.4
BMI 30	18.9 ± 1.2	20.5 ± 1.3

筆者らはこの指摘を受けて、帰国後、10名の成人男女に、自体重および身体にオモリを负荷した状態で階段昇降運動を「上り」の歩調90歩/分と110歩毎分で行わせ、BMIと体重あたりの酸素消費量との関係について調査した。

上の表1、2はその結果を男女について示したもので、それぞれの表の青字は体重のみ、それに続くBMI25-35についてはオモリを负荷した際の体重あたりの酸素消費量である。自体重からBMI35あるいはBMI30までの数値の変化は男性では最大8%、女性では最大4%で、歩調が90歩/分から110歩/分に増加した場合でも、その増加はいずれも10%以内である。これらは、前述の階段を上り続ける場合の酸素消費量に比べて（約32~35 ml/kg/分）明らかに低値である。海外の論文の中には、BMI30を超える中年男性糖尿病患者につ

いて28-30ml/kg/分、中年女性糖尿病患者でも22-24ml/kg/分程度の最大酸素摂取量を有することを示したものが数多く見受けられる。

階段昇降運動は、既に糖尿病患者の血糖調節に有効性が証明されている筋力トレーニング同様、高強度筋活動（階段の上り部分）で効率よく糖をエネルギー源として利用することを血糖値を下げるための原理としている。従って、本研究の被験者が行ったように必ずしも10数回の階段昇降運動を連続して行う必要はなく、数回ごとに休息を取り、心拍数が下がってから次の階段昇降を行っても、その血糖値低下量に違いはない。本研究室では既にこのことについては確認済みであり、むしろ、心拍数が上昇し十分な心拍出量が確保された状態に比べ、数回事に休憩を取り、心拍数低値から運動を始めたほうが、循環器応答の遅れが生じることで糖利用割合は大きくなる。

(2) 3ヶ月間の運動介入により、空腹時の血糖値は介入前100.9 ± 15.4から介入後95.0 ± 12.2 mg/dlへと有意に低下、更にインスリン抵抗性の指標であるHOMA-IR値についても介入前1.90 ± 1.07から介入後1.43 ± 0.67へと有意な低下を認め、階段昇降運動を用いた運動介入が耐糖能を改善させる効果も持つ可能性が示唆された。但し、一方、HbA1c値については、介入前5.50 ± 0.38、介入後5.54 ± 0.48%で変化を認めず、データを詳細に検討した結果、介入による効果にバラツキがあることが明らかになった。

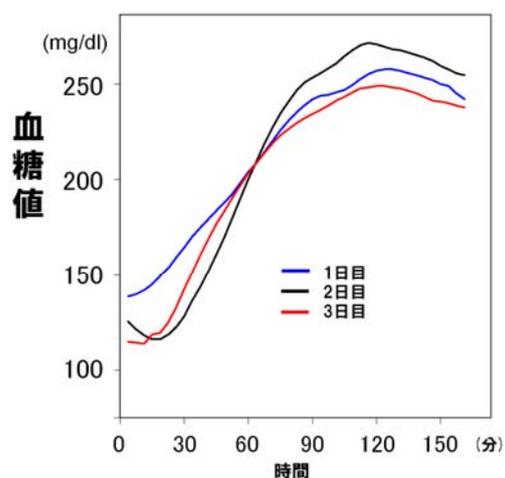


図2 朝食摂取開始時点を基準とする異なる3日間の血糖値変化（同一被験者に対する連続血糖モニタによる3日間連続測定）

図2は、連続血糖モニタ（CGM）を使って、運動介入による耐糖能変化が認められなかった被験者1名について3日間の血糖値測定を

行い、昼食開始時点を基準として血糖値の変化を比較したものである。

本研究では、食事開始から何分後に運動介入を行うかを決めるにあたって、一般に食事開始から60～90分後に血糖値変化のピークが現れるとする先行研究や、これまでの予備実験および先に述べた「血糖値変化量比較研究」の結果から食事開始から約90分の時点で階段昇降運動を実施することとした。しかし、この被験者では食事開始から90分を過ぎてもまだ血糖値は上昇を続けており、むしろ、食事開始から120～130分を運動開始とすることが望ましいと考えられる。本研究では全被験者とも同一の成分調整食を摂取した。血糖値のピーク出現がこの被験者で通常の人よりも30分以上遅い理由については明らかでないが、運動開始が早すぎた場合、階段昇降運動で血糖値が低下し、インスリン分泌量の減少につながることから、運動後しばらくたってから却って血糖値が上昇する場合がある。今後は、このCGM装置を積極的に利用することで被験者の血糖値変化の時間特性を正確に把握し、階段昇降運動による介入をより効果的なものとするため研究を継続する予定である。

最後に、階段昇降運動による血糖値降下作用が認められなかったケースについて示す。

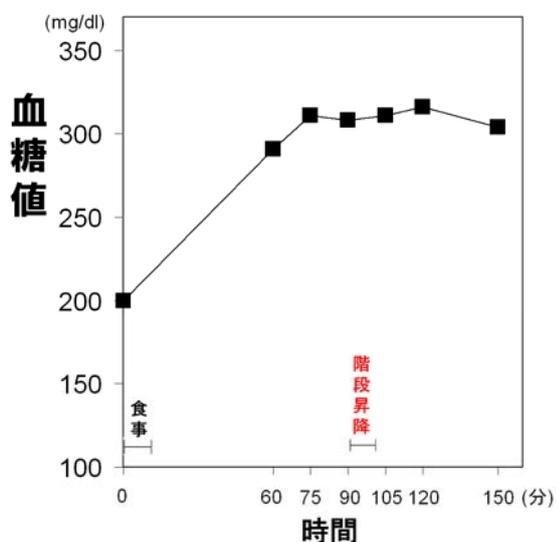


図3 階段昇降による血糖値変化が認められなかった一例

この被験者は、食事開始から75分後、90分後の血糖値がほぼ同値となったため、同90分から15回の階段昇降運動を実施した。しかし、血糖値は120分の時点までほぼ横ばいであり、他の被験者とは全く異なる結果であった。この被験者のHbA1cは9.1であり、本研究に参加した他の被験者の同測定値に比

べて2近く高い。このような糖尿病患者では血糖値の基準が軽度糖尿病患者に比べて大幅に高値にシフトしている可能性があり、階段昇降運動によって血糖値が下がったとしても、身体がそれを速やかに戻す（血糖値を上げる）のかもしれない。

## 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 Tetsuo TAKAISHI and Tatsuyas HAYASHI, Changes in BG level by a short bout of stair climbing-descending exercise and a bicycle exercise in elder people, The 20th IAGG World Congress of Gerontology and Geriatrics, 2013.6.25, Seoul, Korea.
- ② Tetsuo TAKAISHI and Tatsuyas HAYASHI, A short bout of stair climbing-descending exercise ameliorates postprandial hyperglycemia more efficiently than a bicycle exercise, 72nd Scientific Sessions, American Diabetes Association, 2012.6.11, Philadelphia, USA.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高石 鉄雄 (TAKAISHI TETSUO)  
名古屋市立大学・大学院システム自然科学  
研究科・教授  
研究者番号：50216610

### (3) 連携研究者

渡邊 美幸 (WATANABE MIYUKI)  
岐阜医療科学大学・保健科学部・講師  
研究者番号：90336602

今枝 憲郎 (IMAEDA KENRO)  
名古屋市立大学・大学院医学研究科・講師  
研究者番号：30347398