

令和 4 年 10 月 28 日現在

機関番号：37111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K16584

研究課題名(和文) 糖尿病・肥満予防に対する有効な運動タイミングの探索

研究課題名(英文) The effect of exercise timing on prevention of diabete and obesity

研究代表者

畑本 陽一 (HATAMOTO, YOICHI)

福岡大学・基盤附置身体活動研究所・ポスト・ドクター

研究者番号：90738832

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：運動を行う際に、1回にまとめて運動を行う方法と、それとも小分けに運動時間を分けて行う方法のどちらが健康指標に有効かは、多くの方の疑問である。そこで本研究では、隙間時間に運動を行うことを想定し、運動時間を小分けにした時の肥満や食後の血糖コントロールに有効であるかを検証した。その結果、小分けに運動した場合でも肥満改善や血糖コントロールに有効であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

食後血糖上昇に対する運動の最適なタイミングは食後運動が一般的とされる。しかし、食後の運動は、胃の不快感を誘発する可能性があり、また食後運動後に血糖値の再上昇を招く恐れがある。本申請の研究を遂行することで、食後血糖上昇に対する適切な運動実施タイミングの解明につながり、糖尿病や心筋・脳梗塞などの大血管障害の予防策につながる。また定期的な運動は、生活習慣病の予防に有効であることは周知の事実であるが、成人以上の人では運動時間の確保が難しいという問題がある。本研究では運動強度の違いによる小分け運動に着目し、肥満や糖尿病予防に有用であることを検証できる。

研究成果の概要(英文)：A lot of people have concerned that how exercise methods (exercise duration, timing and modes etc...) is more effective on health outcome. The purpose of the study was to examine the effect of brief periodic exercise in a day on prevent/cure obesity and blood glucose control. Our results showed that brief periodic exercise (ie: about 3minutes exercise every 30 minutes over a day) was effective to increase total energy expenditure and blood glucose control. Our results may be useful information for the people who is busy office worker do not have the time to exercise long time (ex. more than 30 minutes ).

研究分野：運動生理学

キーワード：血糖値 エネルギー消費量 運動 肥満 糖尿病

### 1. 研究開始当初の背景

近年、座位行動を細切れに中断することが健康評価項目に有益な影響を及ぼすことが報告されている。また細切れに短時間の運動することによって、食後の血糖上昇を抑制することも明らかとなっている<sup>1</sup>。食後の急な血糖上昇は、酸化ストレスを増大させ血管内皮障害を引き起こし、その積み重ねが動脈硬化の進展および大血管障害（心筋梗塞、脳梗塞など）の発症に寄与すると考えられている。運動強度と骨格筋への糖取り込みは、乳酸閾値（LT）強度以上の運動強度であれば、GLUT4 のトランスロケーションによる糖取り込みが促進される可能性があることから、LT 強度以上の細切れ運動であれば 1 日の血糖動態を良好にすることが期待される。

肥満は、エネルギー収支バランスの崩れが長年にわたって積み重なることで形成される。運動は、エネルギー消費量を増大させるため肥満の改善に有効であるだろう。LT 強度以上の運動後には、しばらくエネルギー消費が亢進する現象（EPOC）が知られている<sup>2,3</sup>。しかし、LT 強度以上の細切れ運動が 1 日のエネルギー消費を亢進させるかは不明である。細切れ運動は、まとまった運動時間を必要とせず、多忙で運動時間を確保できない現代社会にとって有効な運動方法となり得るかもしれない。

### 2. 研究の目的

本研究では、LT 強度を境とした運動強度の異なる細切れ運動が、1 日の血糖コントロールおよびエネルギー消費量に与える影響について明らかにすることを目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究の対象者は BMI25 以上の若年男性 9 名とし、身体的特徴を表 1 に示した。これらの対象者には、本研究の目的および内容、注意点について十分なインフォームドコンセントを行った上で研究への同意を文書で得た。なお、本研究は福岡大学倫理審査委員会の承認を得て行った。

#### (1) 本研究のプロトコル

対象者は、トレッドミルを用いて運動強度の異なる 3 条件の細切れ運動を 30 分おきに計 16 回行った。3 条件の運動強度は、60% LT, LT, OBLA (Onset of Blood Lactate Accumulation) の 3 条件とし、全てジョギングを用いて行い、条件間での走行時間(距離)を統一した(表 3)。対象者は、実験前日からエネルギー消費量が連続して測定可能なヒューマンカロリーメーター室に宿泊し(19:00~翌日の 19:00 の間滞在)、翌日に上記の細切れ運動のいずれかを 8:30 ~ 17:00 の間に行った。各試行は 5 日間以上の間隔をあけて同一時刻および同一条件で計 3 条件実施した。

各条件での食事摂取量および食事組成は、表 2 に示した。食事摂取量は、基礎代謝量の

推定式に基づいた値に 1.3 倍に、細切れ運動によって消費される推定エネルギー消費量を加算したエネルギー量とした。

表1. Participants baseline characteristics (n=9).

Age (years)	21.1 ± 0.9
Height (cm)	171 ± 7
Weight (kg)	91.3 ± 13.4
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	31.2 ± 4.5
Body fat (%)	31.2 ± 3.3
Mean ± SD	

表2. Energy and macronutrient intakes during the test meal in experimental days.

	Dinner	Breakfast	Lunch
Energy intake (kcal)	904 ± 128	725 ± 0	1021 ± 120
Protein (g)	33 ± 1	14 ± 0	41 ± 5
Fat (g)	33 ± 4	30 ± 0	32 ± 6
Carbo (g)	119 ± 25	99 ± 0	141 ± 17
Protein (%)	15 ± 2	8 ± 0	16 ± 1
Fat (%)	33 ± 3	37 ± 0	28 ± 3
Carbo (%)	52 ± 4	55 ± 0	55 ± 2
Mean ± SD			

表3. Total steps on the experiment day and exercise information in each condition (n=9).

	60% LT	LT	OBLA
Total exercise duration (min)	53	32	20 ± 2
Step/day	8088 ± 580	5302 ± 417	3650 ± 398
Velocity (m/min)	63 ± 16	105 ± 27	167 ± 35
RPE	8.0 ± 1.7	10.4 ± 1.7	12.6 ± 1.8

#### (2) LT 強度の評価

対象者はトレッドミルを用いて多段階運動負荷試験を行い、乳酸閾値強度を決定した。運動負荷試験は、対象者の体力レベルに応じた初期走行速度から 10m/min ずつ多段階的(1 負荷 3 分間)に増加させ、血中乳酸濃度が 4mmol/L に達するまで行った。各運動負荷の間には、1 分間の休息を設けた。各運動終了 30 秒前に心拍数(HR, Polar RS800CX)を測定し、1 分間の休息の際に Borg scale による主観的運動強度(RPE)と耳朶から血中乳酸濃度(LA)を測定した(ラクテート・プロ 2LT-1730 アークレイ, 日本)。

#### (3) 持続血糖測定

血糖値は、持続血糖測定装置(Continuous Glucose Monitoring System; CGM, ipro2, Medtronic MiniMed 社, 米国)を用いて測定した。CGM は腹部の皮下に挿入した電極で組織間質液中のグルコース濃度を継続的に測定し、自己血糖測定値により校正することで 5 分毎の血糖値が評価される。CGM は実験日の 1 日前から装着し、CGM 測定値の校正の為に自己採血による末梢血から(グルテ スト Neo, 株式会社三和化学研究所, 日本)血糖自己測定を 4 回以上行った。

#### (4) エネルギー消費量の評価

ヒューマンカロリメーター(HC)はヒトのエネルギー代謝を酸素摂取量と二酸化炭素産生量から測定する装置の一種であり、密閉された室内で生活することにより EE が連続して測定可能な装置である。HC 室内は 25℃、湿度 55% で制御されており、室内の空気は 80L/分で換気される。排出されたガス濃度をオンラインのプロセス用質量分析計 (VG Prima B, Thermo Electron 社, 英国) で 1 分ごとに測定し毎分の酸素摂取率および二酸化炭素産生率を計算し、Weir<sup>4</sup> の式を用いて毎分のエネルギー消費量を算出した。

#### 4. 研究成果

本研究では、1 日を通した運動強度の異なる細切れ運動が 1 日の血糖コントロールおよび総エネルギー消費量に与える影響について調査した。

運動強度の異なる 3 条件時の血糖値の継続的变化を図 1 に示した。7:00~19:00 の 12 時間における血糖積分値および平均値には 3 条件間で有意な差は認められなかった ( $p>0.1$ )。今後、食後の血糖変動に着目し、解析を進める。

24 時間の総エネルギー消費量は、運動強度の違いにおける統計的な有意な差は認められなかった ( $p>0.1$ )。これまでの先行研究では、運動強度の異なる持続運動において検証されており、複数の研究で報告されており、いずれの研究においても運動強度が異なっても 1 日のエネルギー消費量には差がなかったと報告されている<sup>5</sup>。本研究では、一日を通した運動強度の細切れ運動について着目しており、先行研究とは運動方法が異なるが、細切れ運動であっても持続運動であっても、運動強度が異なっても 1 日の総エネルギー消費量は大きく違いはないと考えられる。

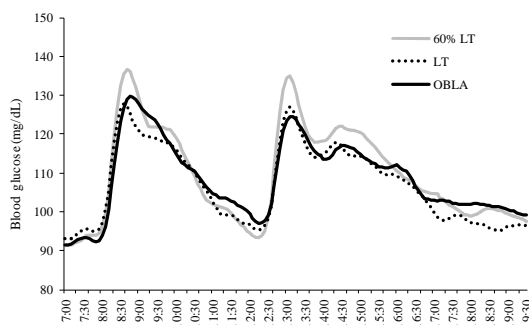


図 1. 運動強度の異なる細切れ運動中の血糖値の継続的变化

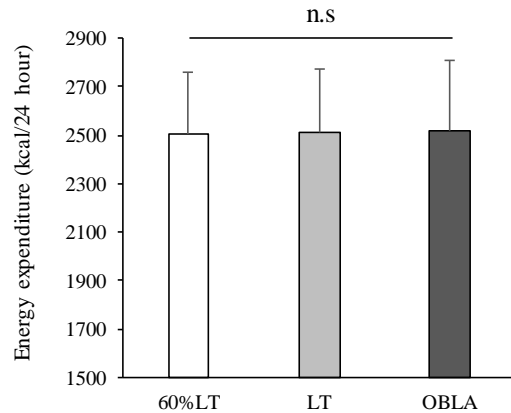


図 2. 運動強度の異なる細切れ運動中の 24 時間の総エネルギー消費量

#### 結論

1 日を通した運動強度の異なる細切れ運動は、1 日の総エネルギー消費量および平均血糖値に大きな違いがないことが示唆された。今後、血糖動態と基質酸化との相互関係に着目し解析を進める。

#### 参考文献

- 1 D. W. Dunstan, B. A. Kingwell, R. Larsen, G. N. Healy, E. Cerin, M. T. Hamilton, J. E. Shaw, D. A. Bertovic, P. Z. Zimmet, J. Salmon, and N. Owen, "Breaking up prolonged sitting reduces postprandial glucose and insulin responses," *Diabetes Care* **35** (5), 976-983 (2012).
- 2 J. LaForgia, R. T. Withers, and C. J. Gore, "Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption," *J Sports Sci* **24** (12), 1247-1264 (2006).
- 3 E. Borsheim and R. Bahr, "Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption," *Sports Med* **33** (14), 1037-1060 (2003).
- 4 J. B. Weir, "New methods for calculating metabolic rate with

special reference to protein metabolism," J Physiol **109** (1-2), 1-9 (1949).

- 5 W. H. Saris and P. Schrauwen, "Substrate oxidation differences between high- and low-intensity exercise are compensated over 24 hours in obese men," Int J Obes Relat Metab Disord **28** (6), 759-765 (2004).

## 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)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Hatamoto Y, Goya R, Yamada Y, Yoshimura E, Nishimura S, Higaki Y, et al. Effect of exercise timing on elevated postprandial glucose levels. J Appl Physiol (1985). 2017;123(2):278-84. 査読有

Hatamoto Y, Yoshimura E, Takae R, Komiyama T, Matsumoto M, Higaki Y, Tanaka H. he effects of breaking sedentary time with different intensity exercise bouts on energy metabolism: A randomized cross-over controlled trial. Nutr Metab Cardiovasc Dis. 2021 Jun 7;31(6):1879-1889.

〔学会発表〕(計 1 件)

Hatamoto Y, 4th International Recent Advances and Controversies in Measurement of Energy Metabolism (RACMEM) Conference. Symposium, Tittle : Sit-stand movement assessment & breaking sitting time.2017, Switzerland.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

畑本 陽一 (HATAMOTO, Yoichi)  
国立健康栄養研究所  
栄養・代謝研究部  
研究員  
研究者番号：90738832

### (2)研究分担者

なし ( )

研究者番号：

### (3)連携研究者

なし ( )

研究者番号：

### (4)研究協力者

(1) 田中 宏暁 (TANAKA, Hiroaki)  
福岡大学スポーツ科学部・教授

(2) 吉村 英一 (YOSHIMURA Eichi)  
熊本県立大学環境共生学部・准教授