

若年成人における歩行および同等速度のジョギングによる 座位行動ブレイクが食後血糖・脂質動態に及ぼす急性影響

中村学園大学 熊原 秀晃
(共同研究者) 同 阿具根 美和
岡山県立大学 綾部 誠也
中村学園大学 一田 木綿子
栄養クリニック
中村学園大学 加藤 正樹

Acute Effects of Breaking up Prolonged Sitting with Walking and Slow-speed Jogging on Postprandial Glycaemia and Lipid Responses in Young Adults

by

Hideaki Kumahara, Miwa Agune, Masaki Kato
Faculty of Nutritional Sciences, Nakamura Gakuen University
Makoto Ayabe
*Faculty of Computer Science and Systems Engineering,
Okayama Prefectural University*
Yuko Ichida
Nakamura Gakuen University Nutrition Clinic

ABSTRACT

This study aimed to determine the effects of sitting breaks with walking and slow-speed jogging on postprandial glycaemia and lipid responses in healthy young adults. Fourteen adults, aged 22 ± 2 yrs, randomly completed three different 180-min trials after consuming standardised test meals. These trials were as follows: 1) uninterrupted sitting on an office chair (control), 2) sitting with 3-min bouts of walking every 30 min and 3) sitting with 3-min bouts of slow-speed jogging every 30 min. Walking and

jogging speeds were fixed at 6.0 km/h with a pacesetter. Venous blood samples and blood glucose concentrations using a continuous subcutaneous interstitial fluid glucose monitoring system were obtained. Incremental areas under the curves (iAUC) for the blood sample responses were calculated. Both the glucose iAUC and insulin iAUC over 180 min were significantly lower during the walking and jogging trials than during uninterrupted sitting. The insulin reduction ratio during the jogging trial had significant correlations with the maximal oxygen consumption per body weight compared with the control trial. However, there was no significant effect of sitting breaks on postprandial triglyceride response. Our results indicated that breaking up prolonged sitting with 3 min of walking or slow-speed jogging every 30 min improved postprandial glycaemic and insulinemic responses compared with uninterrupted sitting in healthy young adults. The effect of jogging breaks on suppressing insulin secretion may be more effective in individuals with lower aerobic fitness levels.

キーワード

身体活動, 座位行動, 非運動性活動, 食後エネルギー代謝, 血糖値

Keyword

Physical activity, Sedentary behavior, Non-exercise activity thermogenesis,

Postprandial energy metabolism, Blood glucose level

要 旨

本研究は、歩行および低速度ジョギング（ジョグ）による座位行動中断が、健康若年成人の食後血糖・脂質動態に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。22 ± 2歳の男女14名を対象に次の3試験の食後180分間の血中指標を観察した：オフィスチェア座位継続（対照試験）、30分毎に3分間の6km/時の歩行およびジョグ。血中指標は肘静脈採血および持続血糖測定装置を用いて測定し、曲線下面積値（iAUC）にて評価した。グルコース値およびインスリン値のiAUCに有意な試験間差が認められ、歩行とジョグは対照試験に比して低値を示した。一方、トリグリセリド値iAUCは試験間差を認めなかった。ジョグにおける対照試験を基準としたインスリン値低減率は、最大酸素

摂取量との間に有意な相関関係を認めた。歩行またはジョグによる座位行動の中断は、健康若年成人の食後血糖動態に好影響を及ぼすことが示唆された。ジョグによるインスリン抑制効果は全身持久力が低い者で大きい可能性がある。

緒 言

近年、長時間に亘る座位や横臥状態といった座位行動が生活習慣病等のリスク因子となることがわかってきており^{1,2)}、WHOの身体活動指針³⁾では疾病予防のために、3METs以上の中等度強度以上の身体活動の促進に加えて、座位活動時間を少なくすることが推奨されている。日本人は、オフィスワーカーを代表として座位時間が長い国民であることが報告されているが⁴⁾、COVID-19感染拡大によるリモートワーク等の新しい生活様

式によって、座位行動の機会がさらに多くなっていることが危惧される。

肥満や糖尿病患者等の疾患者を対象に、座位行動を中断・短縮することの健康効果を検討した先行研究が散見され、座位行動を20～30分毎に2～5分の低中強度の歩行で中断すると、血中グルコースやインスリン等の食後血糖代謝関連マーカーに好影響をもたらすことが報告されている⁵⁻⁸⁾。しかし、生活習慣病等の一次予防が重要視される働き盛り世代の若年成人を対象とした先行研究は限定的であり、座位行動を歩行で中断することによる食後血中グルコース値の低減効果を認めた報告⁹⁾がある一方で、認められないとの矛盾した報告¹⁰⁻¹²⁾もあり、未だ一定の見解は得られていない。したがって、将来へ向けた疾病予防が重要となる健常若年成人に対する座位行動中断の有効性や中断方法を明らかにする必要があると考えられる。

ところで、先行研究で検証されている座位中断の運動様式の主流は歩行である。歩行は、主要な日常生活活動として座位行動を中断する方法に比較的取り入れ易いと考えられる。一方、その速度すなわち運動強度は限定的である。近年、歩行と同等速度で行う低速度ジョギング（以下、ジョグ）が提唱されている。このジョグは、歩行と同等速度で実施するものの活動中のエネルギー消費量が歩行の約2倍となり、肥満予防・改善が期待できる運動様式であることが報告されている^{13,14)}。このジョグであれば、肥満者や疾患者に比して身体的体力の高い健常若年者においても好影響をもたらすだけの十分な負荷強度を与えられる可能性が考えられる。

以上の観点から、本研究は、健常若年成人を対象とし、歩行およびジョグによる2種の異なる座位行動の中断方法が、食後の血糖・血中脂質関連マーカーに及ぼす影響を急性影響の側面から明らかにすることを目的とした。

1. 研究方法

1. 1 対象者

対象者は若年健常成人14名（女性7名、男性7名、年齢： 22.3 ± 1.5 歳、BMI： $20.5 \pm 2.1\text{kg/m}^2$ ）であった。対象者には事前に試験の趣旨、安全性について書面および口頭にて説明を行い、研究参加への同意を書面にて得た。なお、本研究のプロトコルは中村学園大学倫理審査委員会の承認を得た。

1. 2 実験プロトコル

本試験事前に、トレッドミルを用い70m/分と100m/分の歩行および130m/分から15m/分で漸増する走行を行う1負荷4分間の間欠式多段階漸増運動負荷試験を行った。運動終了基準は、年齢推定最大心拍数の80%を超えた時点、または主観的運動強度で18（かなりきつい）を超えた時点とした。運動中の酸素摂取量は、質量分析装置（ARCO2000, アルコシステム社）を用い呼気ガスを連続して測定し、各負荷終了前1分間の平均値を評価した。心拍数は、心拍数計測装置（RS800, Polar社）にて各負荷終了前10秒間の平均値を採用した。

本試験の実験プロトコルを図1に示した。対象者は、各試験2日前から激しい運動を控え、各試験前日の夕食は、試験開始10時間前までに毎回同じものを喫食した。試験当日は早朝空腹状態にてベースラインとなる肘静脈採血を行うと共に、持続血糖測定装置（FreeStyle リブレ, Abbott社）にて間質液中グルコース（以下、グルコース値）を測定した。その後、対象者は実験食（身体活動レベル1.5の推定総エネルギー必要量の40%でPFC比=15:25:60%で構成）を規定時間内で喫食した。実験食の完食時を0分とし180分間に亘りオフィスチェアでの座位を基本とした次の3試験を無作為化クロスオーバー試験にて実施した。

①歩行試験：座位を30分毎に中断し6km/時で3

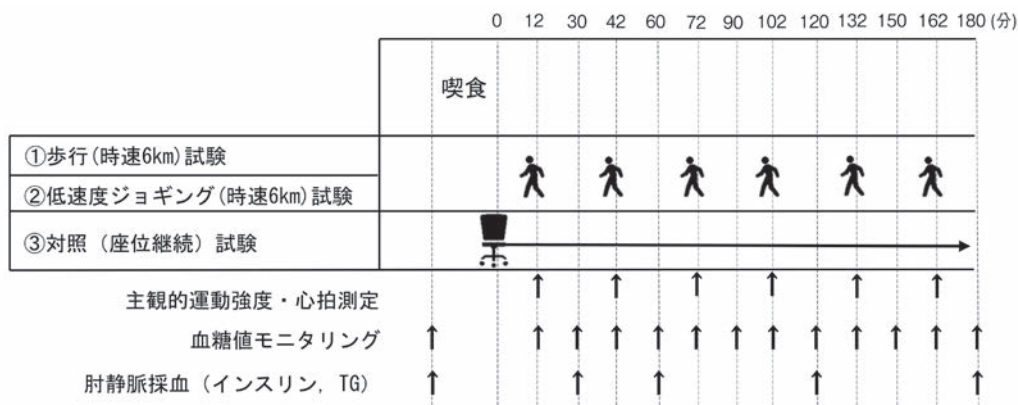


図1 本試験のプロトコル

分間の歩行, ②ジョグ試験: 30分毎に6km/時で3分間のジョグ, ③対照試験: オフィスチェアで座位継続(座位中断なし). 歩行とジョグは, 15mの廊下を熟練ペースメーカー1名が対象者を先導し実施した. 肘静脈採血はベースラインに加え, 食後30分・60分・120分・180分後に行い, インスリンおよびトリグリセリド(TG)を測定した. 持続血糖測定装置によるグルコース値は15分毎に測定した. 歩行およびジョグ時の心拍数は, 活動終了前10秒間に心拍数計測装置より得られた平均値を採用した. 歩行とジョグの活動終了直後にBorgの主観的運動強度(自覚的疲労度を示す6~20の数値)を聴取した.

1. 3 統計解析

単位体重当たりの最大酸素摂取量($\dot{V}O_2\max$)は, 運動負荷試験で得られた酸素摂取量と心拍数をプロットした一次回帰式より, 年齢推定最大心拍数($206.9-0.67 \times \text{年齢}$)¹⁵⁾に対する $\dot{V}O_2$ を算出し推定した. 歩行・ジョグ時の心拍数より相対的運動強度の指標となる心拍数予備能(% Heart Rate Reserve: % HRR) 15を算出した: [活動中の心拍数-安静時心拍数] ÷ [推定最大心拍数-安静時心拍数] × 100. %HRRは, 同一試験時に測定した6回的心拍数を個人ごとで平均化し代表値とした.

食後のグルコース値, インスリン値, TG値のデータは, Area Under the Curve (AUC) を算出し, ベースラインからの増加分を反映するIncremental AUC (iAUC)¹⁶⁾にて評価した. iAUCは, 全180分間に亘る総面積値に加えて, 時間帯毎(0~60分:60分値, 60~120分:120分値, 120~180分:180分値)に分けて評価した. また, 歩行とジョグのiAUC総面積値は, 座位継続試験を基準(0%)とした比率(低減率)を求めた: ([各試験のiAUC-座位継続試験のiAUC] ÷ 座位継続試験のiAUC) × 100.

試験間の比較には一元配置分散分析およびTukeyのpost hoc検定を用いた. 歩行とジョグ時の%HRRはt検定, RPEはWilcoxonの符号順位和検定を用い比較した. 座位中断活動による糖・脂質パラメータの変化と全身持久力の関連性を検討するために, 各試験のiAUCの比率を従属変数とし $\dot{V}O_2\max$ を独立変数としたPearsonの単相関分析を行なった. データは平均値±標準偏差または中央値[四分位範囲]で示した. 統計解析にはIBM SPSS Statistics 28を使用した. 有意水準は5%とした.

2. 研究結果

ジョグ時(53.2 ± 15.0%), 歩行時(32.4 ± 11.8%)の%HRRに有意差が認められ, ジョグ時

は歩行時より高値を示した。RPEも同様に両試験間に有意差が認められた(ジョグ:12.0[10.0-13.0] vs. 歩行:10.0[9.0-12.0])。

グルコースiAUCの総面積値は有意な試験間差を示し、歩行とジョグは座位継続と比較して低値を示した。時間帯毎でも同様に低値を示した(図2)。

インスリンiAUCの総面積値は有意な試験間差を示し、歩行とジョグは座位継続と比較して低値

を示した。時間帯毎の分析においても有意な試験間差が認められ、ジョグは60分値と120分値で座位継続より低値を示し、歩行は120分値と180分値で低値を示した(図3)。

TGのiAUC総面積値および各時間帯のいずれも有意な試験間差を認めなかった(図4)。

ジョグに関して、 $\dot{V}O_{2max}$ とインスリンiAUCの低減率の間に有意な正の相関関係($r=0.564$)が認められた。

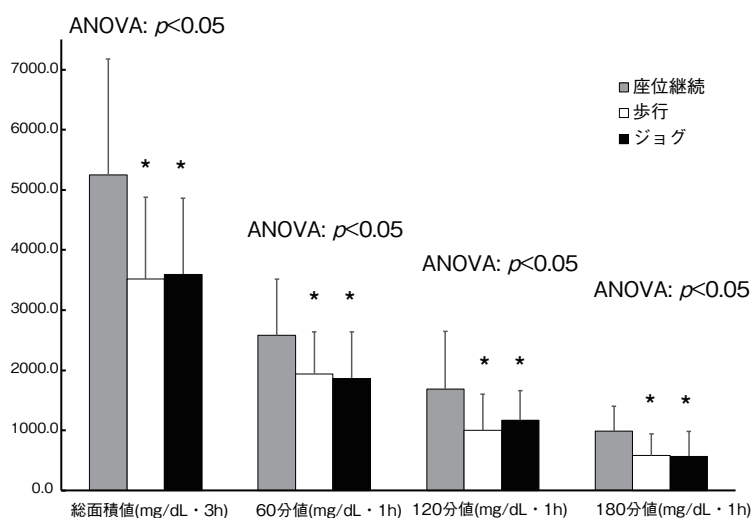


図2 グルコースiAUCの総面積値(180分間)および時間帯毎の面積値(0~60分:60分値, 60~120分:120分値, 120~180分:180分値)の比較
試験間の比較には一元配置分散分析(ANOVA)およびpost hoc検定を用いた。*: vs.座位継続 $p < 0.05$

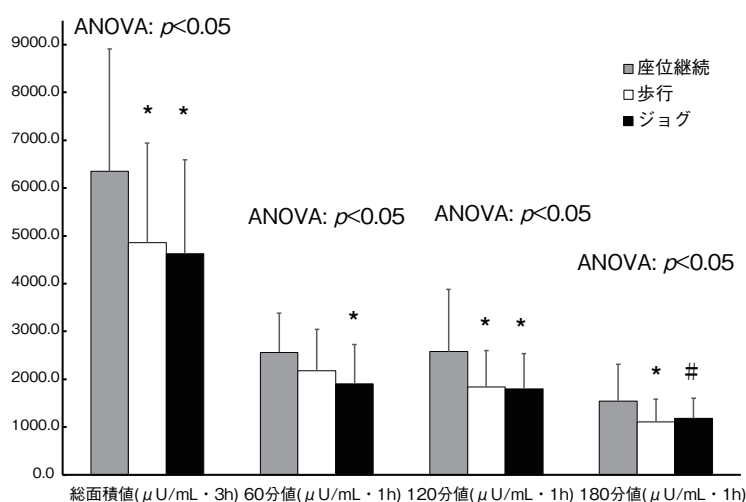


図3 インスリンiAUCの総面積値(180分間)および時間帯毎の面積値(0~60分:60分値, 60~120分:120分値, 120~180分:180分値)の比較
試験間の比較には一元配置分散分析(ANOVA)およびpost hoc検定を用いた。*: vs.座位継続 $p < 0.05$, #: vs.座位継続 $p < 0.1$

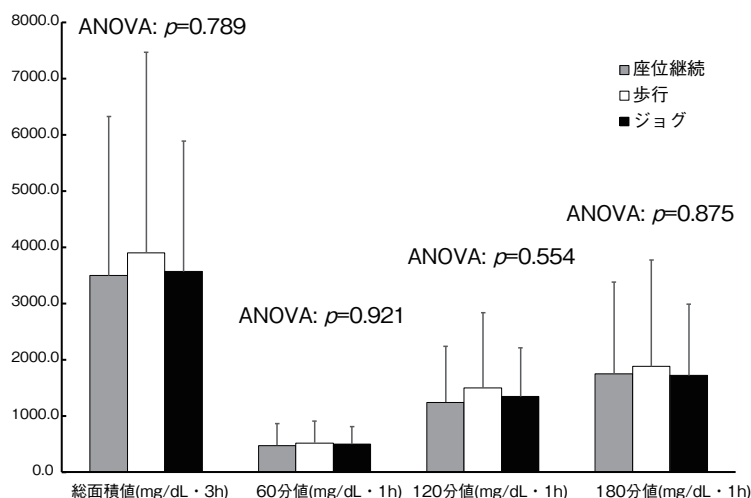


図4 トリグリセリドiAUCの総面積値(180分間)および時間帯毎の面積値(0~60分:60分値, 60~120分:120分値, 120~180分:180分値)の比較
試験間の比較には一元配置分散分析(ANOVA)およびpost hoc検定を用いた

3. 考 察

本研究は、健常若年成人を対象に歩行および低速度ジョギングによる座位中断が、食後の血中糖・脂質関連マーカーに及ぼす影響性を検討した。その結果、座位を30分毎に3分間の歩行または低速度ジョギングにより中断することは、座位継続と比較して血中グルコース値とインスリン値を抑制することが示唆された。脂質代謝関連マーカーには、座位中断による明らかな効果はみられなかった。

同一速度で実施した歩行およびジョグの相対的運動強度は、それぞれ低強度(約32%HRR)と中等度(約53%HRR)に区分された。健常若年成人に対してこのような負荷強度の歩行とジョグによる座位中断は、食後グルコース値だけでなくインスリンの抑制にも効果があったことは本研究の注目すべき結果の一つである。推測の域を出ないが、比較的軽度な負荷強度かつ短時間の身体活動を断続的に実施することでもインスリン感受性あるいはインスリン非依存性の糖取込みが一過性に亢進され、インスリン分泌の抑制作用をもたらした可能性が考えられた。また、本研究結果は、近年注

目されている細切れ活動¹⁷⁾の有効性を支持する結果とも位置付けられるかもしれない。

健常若年成人に関して、座位行動中断による食後血糖代謝マーカーへの影響性については相反する結果が混在している^{9-12, 18, 19)}。これら先行研究における効果の有無と座位中断活動の強度や時間の関連に系統性は確認できない。しかし、先行研究の多くは、食事負荷に高糖質食・飲料、または高脂質食といった特定のエネルギー産生栄養素を過度に負荷した栄養素構成で検証されていることが結果の差異の要因の1つかもしれない。本研究では、一般的な日本人の食事²⁰⁾を想定したPFC比の食事を負荷した。一般的な栄養素構成とすることで、より現実的な食事による動態を観察できたことも本研究の特徴であった。

ところで、ジョグでは食後60分からインスリン値iAUCの低減が認められ、食後120分からの低減を示した歩行よりも早い段階でインスリン分泌抑制効果が認められた。しかし、iAUC総面積値の視点からは歩行とジョグの間に顕著な差異がなかったことは留意すべきであろう。ジョグは、歩行よりも相対的運動強度が高いことは認められたが、歩行よりも優れた影響をもたらすという仮

説は立証できなかった。この要因の一つとして、本研究で規定した歩行速度は6km/時とやや速い速歩に相当する速度であったことが考えられる。しかし興味深いことに、ジョグに関して $\dot{V}O_2\text{max}$ とインスリンiAUC低減率の間に有意な相関関係が認められ、全身持久力が低い者ほど座位継続と比較した際のインスリンの低減率が大きくなっていった。つまり、ジョグは全身持久力が低い者にとってはインスリン分泌の抑制に有効な負荷強度となる個人差が考えられた。一般的に諸体力が低い肥満者や糖尿病疾患者、あるいは高齢者などでは、ジョグによる座位中断の恩恵はより大きいと期待できる。

また、本研究で用いたジョグの特徴として、主観的疲労度は比較的小さく歩行と同様に日常生活に取り入れ易い活動であると考えられた。さらにジョグの%HRRは、生活習慣病の予防・改善に推奨される中等度の相対的運動強度の範囲であり、冠動脈疾患や一部の癌の予防にも関連する全身持久力の向上に資するものである^{21, 22)}。以上のように、ジョグによる座位行動中断の利点として、食後血糖代謝関連マーカーへの効果に留まらず、健康増進に有効な活動様式であることが示唆された。

食後脂質代謝関連マーカーに関して、食後TG値に明らかな座位中断の効果を認めなかった。本結果は、座位中断は食後TGに影響しないことを報告した先行研究^{7, 8, 19, 23)}を支持するものであった。しかし、若年健常者を対象に食後TGに改善を認めた先行研究¹²⁾も存在する。本研究で食後TG値に座位中断の影響が観察できなかった要因として、食事負荷に用いたエネルギー産生栄養素の構成が考えられた。先行研究¹²⁾では、TGの動態を観察するために脂質の多い食事を喫食させていた¹²⁾。日本人の一般的な食事に近似した本研究の試験食程度の脂質摂取量の範囲では、座位中断活動による効果は観察し難かったのかもしれない。

い。加えて、TGの変化の観察期間が十分でなかった可能も考えられた。座位中断の翌日にTGの低下傾向を観察した研究²³⁾や、2日間に亘る座位中断介入試験において2日目のみで低値を示した研究¹²⁾が報告されている。以上のように、健常若年成人が座位を歩行およびジョグで中断することは、比較的短時間の日本人の一般的なPFC比による食事性脂質代謝へ及ぼす明らかな影響性は認められず、より長時間の介入あるいは観察期間での検討が今後の課題である。

4. 総括

健常若年成人の座位行動を30分毎に3分間の歩行またはジョグで中断することにより、食後グルコースとインスリンに好影響をもたらすことが示唆された。また、歩行とジョグでは改善効果に顕著な差は認められなかったものの、ジョグは過度な疲労感を感じずに行える活動でありながら、全身持久力の維持・向上が期待され、かつ食後の早い時間帯からのインスリン分泌抑制効果のある活動様式と考えられた。さらに、この効果は全身持久力が低い者でより効果が現れやすいことが示唆された。

本研究は急性影響を検討したため、長期の血糖・脂質動態の影響については不明である。より長期の介入期間を設けたうえでの血糖・脂質動態を観察することは今後の課題である。

謝辞

本研究にご協力頂いた対象者の皆様に深謝申し上げます。本研究の遂行にご助力頂いた中村学園大学大学院栄養科学研究科の石澤由夏氏、中村学園大学栄養科学部の川島聖矢氏、山下達也氏、澤菜々子氏、白濱亮子氏ほか研究室関係諸氏に感謝申し上げます。本研究の成果の一部は、公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団の支援によるものです。

文 献

- 1) Grøntved A., Hu F.B. Television viewing and risk of type 2 diabetes, cardiovascular disease, and all-cause mortality: a meta-analysis. *JAMA*. **305**: 2448-2455 (2011)
- 2) Matthews C.E., George S.M., Moore S.C., et al. Amount of time spent in sedentary behaviors and cause-specific mortality in US adults. *Am. J. Clin. Nutr.* **95**:437-445(2012)
- 3) World Health Organization. WHO Guidelines on physical activity and sedentary behaviour (2020)
- 4) Bauman A., Ainsworth B.E., Sallis J.F., et al. The descriptive epidemiology of sitting. A 20-country comparison using the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ). *Am. J. Prev. Med.* **41**:228-235(2011)
- 5) McCarthy M., Edwardson C.L., Davies M.J., et al. Fitness moderates glycemic Responses to sitting and light activity breaks. *Med. Sci. Sports Exerc.* **49**:2216-2222(2017)
- 6) Dunstan D.W., Kingwell B.A., Larsen R., et al. Breaking up prolonged sitting reduces postprandial glucose and insulin responses. *Diabetes Care*. **35**:976-983(2012)
- 7) Larsen R.N., Kingwell B.A., Robinson C., et al. Breaking up of prolonged sitting over three days sustains, but does not enhance, lowering of postprandial plasma glucose and insulin in overweight and obese adults. *Clin. Sci. (Lond)*. **129**:117-127(2015)
- 8) Freire Y.A., Macêdo G.A.D., Browne R.A.V., et al. Effect of breaks in prolonged sitting or low-volume high-intensity interval exercise on markers of metabolic syndrome in adults with excess body fat: A Crossover Trial. *J. Phys. Act. Health*. **16**: 727-735 (2019)
- 9) Bailey D.P., Maylor B.D., Orton C.J., et al. Effects of breaking up prolonged sitting following low and high glycaemic index breakfast consumption on glucose and insulin concentrations. *Eur. J. Appl. Physiol.* **117**: 1299-1307(2017)
- 10) Bailey D.P., Broom D.R., Christmas B.C., et al. Breaking up prolonged sitting time with walking does not affect appetite or gut hormone concentrations but does induce an energy deficit and suppresses postprandial glycaemia in sedentary adults. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **41**: 324-331 (2016)
- 11) Peddie M.C., Kessell C., Bergen T., et al. The effects of prolonged sitting, prolonged standing, and activity breaks on vascular function, and postprandial glucose and insulin responses: A randomised crossover trial. *PLoS One*. **16**: e0244841 (2021)
- 12) Homer A.R., Fenemor S.P., Perry T.L., et al. Regular activity breaks combined with physical activity improve postprandial plasma triglyceride, nonesterified fatty acid, and insulin responses in healthy, normal weight adults: A randomized crossover trial. *J. Clin. Lipidol.* **11**: 1268-1279.e1261 (2017)
- 13) 田中宏暁. スロージョギングの効用と減量法. 日本スポーツ栄養研究誌. **10**: 2-9(2017)
- 14) Tanaka H., Jackowska M. Slow jogging: lose weight, stay healthy, and have fun with science-based, natural running. New York : *Skyhorse Publishing* (2016)
- 15) American College of Sports Medicine. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Baltimore:*Lippincott Williams & Wilkins*(2010)
- 16) Le Floch J.P., Escuyer P., Baudin E., et al. Blood glucose area under the curve. Methodological aspects. *Diabetes Care*. **13**: 172-175(1990)
- 17) Jakicic J.M, Kraus W.E., Powell K.E., et al. Association between bout duration of physical activity and health: Systematic review. *Med. Sci. Sports Exerc.* **51**: 1213-1219(2019)
- 18) Ma S.X., Zhu Z., Zhang L., et al. Metabolic effects of three different activity bouts during sitting in inactive adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* **52**: 851-858 (2020)
- 19) Peddie M.C., Bone J.L., Rehrer N.J., et al. Breaking prolonged sitting reduces postprandial glycemia in healthy, normal-weight adults: a randomized crossover trial. *Am. J. Clin. Nutr.* **98**: 358-366(2013)
- 20) 厚生労働省. 日本人の食事摂取基準2020版(2020)
- 21) Tanaka H., Shindo M. The benefits of the low intensity training. *Ann. Physiol. Anthropol.* **11**: 365-368(1992)
- 22) Ayabe M., Ishii K. Intensity and amount of habitual physical activity for health: Special considerations in middle-aged and older Japanese adults. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine.* **3**: 85-90

(2014)
23) Henson J., Davies M.J., Bodicoat D.H., et al.
Breaking up prolonged sitting with standing or

walking attenuates the postprandial metabolic
response in postmenopausal women: A randomized
acute study. *Diabetes Care*. **39**: 130-138 (2016)