

令和 5 年 5 月 9 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K19689

研究課題名（和文）異なる運動実施時間帯における持久性運動が糖代謝および体内リズム変動に及ぼす影響

研究課題名（英文）Effects of morning or evening endurance exercise on glucose metabolism and biological rhythms

研究代表者

金 鉉基（Kim, Hyeon-Ki）

早稲田大学・総合研究機構・その他（招聘研究員）

研究者番号：10791874

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、朝または夕の短期間（1週間）持久性運動が血糖値変動に及ぼす影響について検討することを目的とし、健康な若年男性を対象として検討を行なった。その結果、夕の持久性運動後において朝の持久性運動後と比較して穏やかな24時間の血糖値変動が示された。また、各食後の血糖値変動のAUCにおいても朝試行に比べて夕方試行で低値を示し、朝食と夕食で朝試行に比較して夕方試行で有意な低値が示された。これらの結果から、夕の持久性運動は、朝の持久性運動に比較して日中の血糖値コントロールのためにより有効である可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、異なる運動実施時間帯（朝・夕）から24時間の血糖値変動に着目し、持久性運動の効果を検討した。その結果、夕の持久性運動は、朝の持久性運動に比べて24時間の血糖値コントロールにより好ましい影響を与える可能性が示唆された。本研究の主な知見は、糖尿病などの生活習慣病を予防・改善させる上で、現場での指導に直接利用できる有益な情報をもたらすといえる。また、様々な病態や疾患との関連性についても示唆できる可能性があり、研究の更なる発展性が期待できる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to examine the effects of short-term (1 week) morning or evening endurance exercise on 24-hour glucose variability in healthy young men. The results showed milder 24-hour blood glucose fluctuations after evening endurance exercise compared to morning endurance exercise. The area under the curve of blood glucose variability after each meal also showed lower values in the evening trial compared to the morning trial, and significantly lower values in the evening trial compared to the morning trial for breakfast and dinner. These results suggest that evening endurance exercise may be more effective than morning endurance exercise in controlling blood glucose levels during the day.

研究分野：応用健康科学

キーワード：運動実施時間帯 血糖値変動 時間運動学

## 1. 研究開始当初の背景

糖尿病患者は、日本だけでなく諸国においても年々増加しており、深刻な社会問題となっている。令和元年国民健康・栄養調査報告によると糖尿病が強く疑われている人と、糖尿病が否定できない人を調査した結果、調査年ごとに該当者の割合が増加しており、およそ 2200 万人にも上る人がすくなくとも糖尿病の可能性が否定できないと報告している。それゆえ、糖尿病を効果的に予防・改善のための方策を確立することは急務である。

運動は健康の維持・増進や糖尿病予防に有効である。定期的な運動はインスリン感受性を改善し、糖尿病を予防・改善する (Hawley JA et al., *Acta Physiol.* 2008)。そのため、糖尿病の予防のための様々な運動ガイドラインが示されている (William LH et al., *Med Sci Sports Exerc.* 2007)。しかし、これらのエクササイズガイドラインにおいて推奨される運動量、運動継続時間は示されているものの、運動実施時間帯の言及はなされていない。

ヒトにおける糖耐能は日内変動を示しており、朝に比較して夕に低下していることが報告されている (Stenvers DJ et al., *Nat Rev Endocrinol.* 2019)。また、耐糖能の低下に寄与する要因と考えられるインスリン感受性やグルコースに対する  $\beta$  細胞の反応性は、朝食時に比べて夕食時において低下していることが先行研究によって示されている (Van Cauter EPK et al., *Endocr Rev.* 1997)。そのため、食後血糖値は朝食後に比較して夕食後に高くなりやすい。食後高血糖は、糖尿病と心血管疾患の独立した危険因子であるため、空腹時血糖値のみならず食後高血糖を抑制することも重要である。これらを踏まえると、運動のタイミングにおける血糖値への影響は異なる可能性がある。

## 2. 研究の目的

朝と夕の運動実施時間帯の違いが血糖値変動に及ぼす影響を明らかにすることは、よりの確かつ有効な運動療法のために重要であると考えられる。そこで、本研究では朝と夕の異なる運動実施時間帯における持久性運動が血糖値の日内変動に及ぼす影響について検討することを目的とした。

## 3. 研究の方法

### 対象者

対象者は定期的な運動習慣のない健康な若年男性 12 名とした (年齢:  $21.8 \pm 0.2$  歳、BMI:  $21.3 \pm 0.9 \text{ kg/m}^2$ , means  $\pm$  SE)。実験に先立ち、対象者全員に本研究の概要および安全性について十分な説明をおこない、書面により参加の同意を得た。なお、本研究は早稲田大学の人を対象とする研究に関する倫理委員会の承認 (Approval no. 2018-136 (1)) を得て実施した。

### 実験プロトコル

本実験は、2 つの異なる運動条件 (朝試行および夕試行) からなり、すべての対象者に対し 2 試行を実施した。運動は、各試行 1 週間のうち、1 日おきに 3 回 (月曜日、水曜日、金曜日)、最大酸素摂取量時の 60% の負荷で 60 分間のジョギングまたはランニングを行なった。2 試行は無作為化交差比較試験とし、少なくとも 2 週間以上の間隔をあけて実施した。朝試行では 9:00~10:00、夕方試行では 16:00~17:00 に運動を開始した。運動強度の設定は負荷開始から 10 分間にトレッドミルの速度を調整することによりおこなった。実験参加期間中は、3 軸加速度計を装着するように指示した。アンケートを用いて介入前、介入後の生活調査や食物摂取頻度調査を行った。朝または夕の運動開始からの 24 時間血糖値変動および運動翌日の 24 時間血糖値変動を評価するため、持続血糖測定器 (continuous glucose monitoring ; CGM) を用いて測定した。

### 血糖値変動の測定

すべての参加者は、研究期間中、血糖値変動を評価するために、CGM (FreeStyle Libre Pro; Abbott Laboratories, Chicago, IL, US) を装着するように求められた。一度装着すれば、14 日間、15 分間隔で血糖値を連続で測定することができる。両試行とも、24 時間の血糖値変動および曲線下面積 (AUC) を求め、比較検討をおこなった。24 時間血糖値変動は、当日の 00:00 h から 24:00 h まで行われた。食後のグルコース変動は、記録された各食事時間に基づいて食後 4 時間まで検討した。

## 4. 研究成果

### エネルギー摂取量および食事時刻

対象者の研究期間前後におけるエネルギー摂取量および介入期間中の食事時刻において両試行間で有意な違いは認められなかった。

### 身体活動量

両試行とも各運動試行日の歩数および中高強度身体活動量において両試行間で有意な違いは認められなかった。

### 各試行の運動介入中の心拍数

運動介入中の心拍数は、両試行間で有意な違いは見られなかった。

### 24 時間の血糖値変動

朝と夕の運動試行間において、介入期間中の 24 時間血糖値変動に有意な違いは見られなかった。介入期間中の 24 時間血糖値変動の AUC においては、夕試行で朝試行に比較して低くなったが、統計的に有意な違いは見られなかった。一方、各運動試行の介入後の 24 時間血糖値変動では、夕試行が朝試行に比較して穏やかな変動を示し、AUC においては有意に低い値が見られた ( $P < 0.01$ 、図 1)。さらに、各試行の介入後の 1 日ごとの AUC を算出して検討した結果、夕試行介入後における木曜日の AUC が朝試行の介入後に比べて有意に低いことが示された ( $P < 0.05$ 、図 2)。

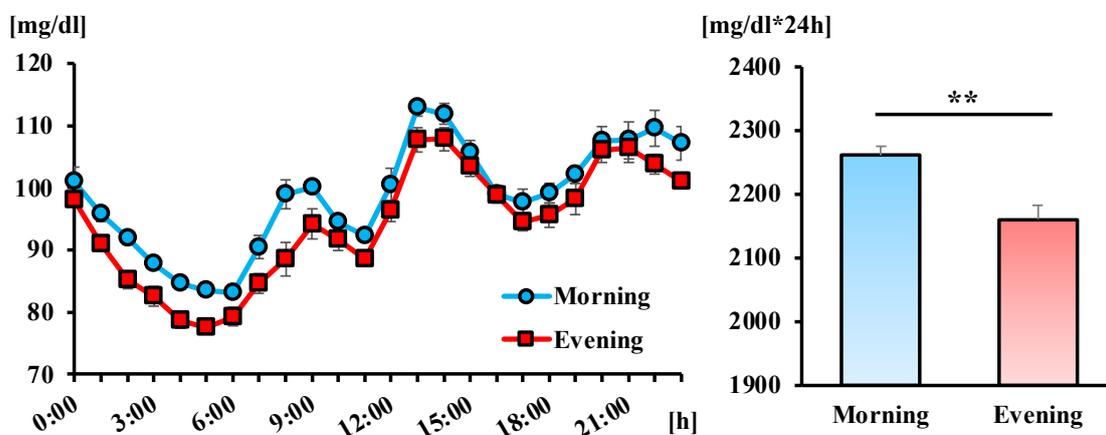


図 1. 朝または夕の持久性運動介入後における 24 時間血糖値変動および曲線下面積 (AUC)

\*  $P < 0.05$  vs 夕試行 (paired t-test)、Morning: 朝試行、Evening: 夕試行

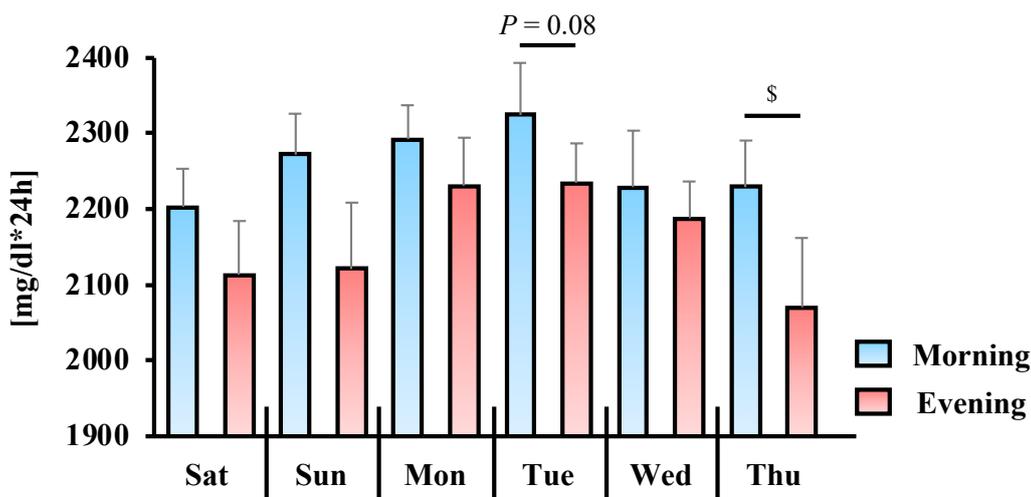


図 2. 各試行の運動介入後における 1 日ごとの曲線下面積 (AUC)

<sup>§</sup>  $P < 0.05$  vs 夕試行 (Wilcoxon)、Morning: 朝試行、Evening: 夕試行

### 各食後の血糖値変動

各試行における運動介入後の食後血糖値の変動において、3食とも夕試行が朝試行に比べて低いことが示された。さらに、朝食後と夕食後のAUCは、朝試行に比較して夕試行で有意に低いことが示された ( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ 、図3)。

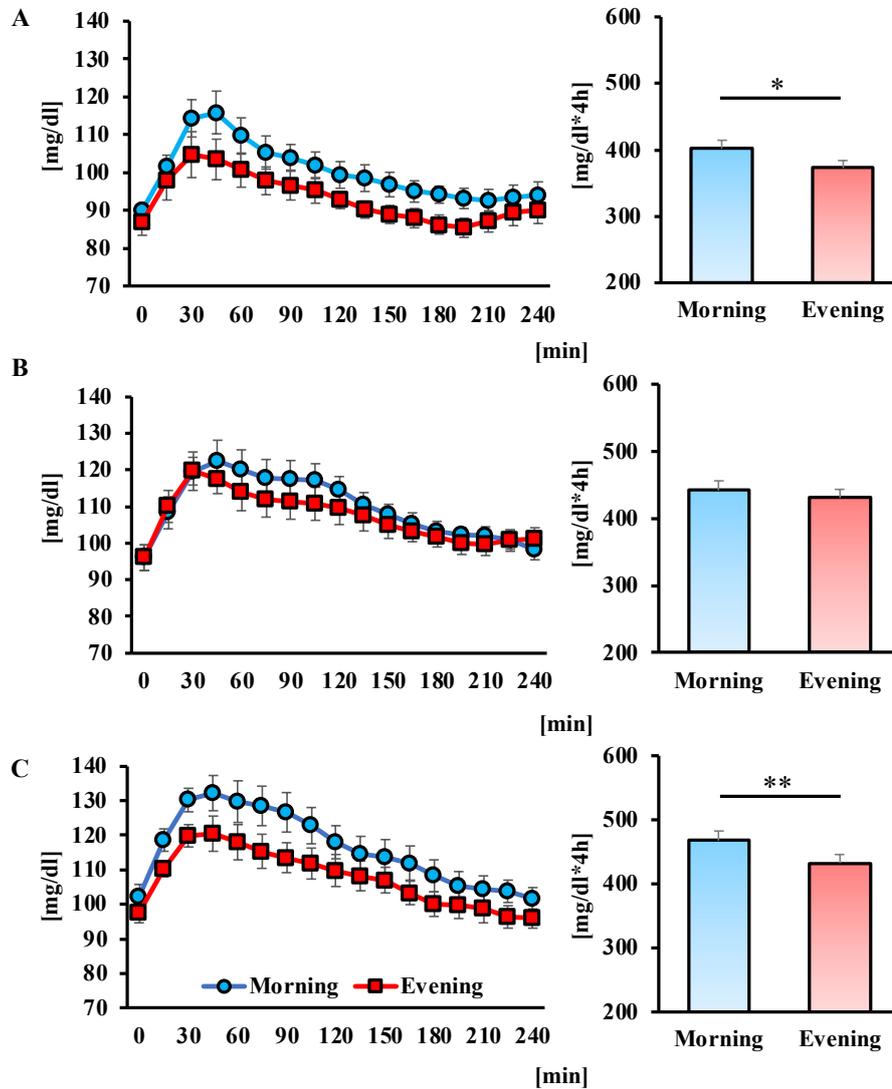


図3. 各試行の運動介入後における食後血糖値変動および曲線下面積 (AUC)  
\*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$  vs 夕試行 (paired t-test)、Morning: 朝試行、Evening: 夕試行

本研究は、朝または夕の短期間 (1週間) 持久性運動が血糖値の日内変動に及ぼす影響について検討を行なった。その結果、夕の持久性運動後において朝の持久性運動後と比較して穏やかな24時間の血糖値変動が示された。また、各食後の血糖値変動においても朝試行に比べて夕試行で低値を示し、AUCにおいては朝食と夕食で朝試行に比較して夕試行で有意に低い値が示された。さらに、運動介入後1週間の1日ごとの24時間血糖値変動の曲線下面積 (AUC) を算出して検討した結果、運動介入後の4日目と6日目において夕の持久性運動で朝の持久性運動に比べて低い傾向および有意に低い値が認められた。これらの結果から、夕の持久性運動は、朝の持久性運動に比べて日中の血糖値コントロールにより好ましい影響を与える可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 6件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Takahashi Masaki, Mineshita Yui, Yamagami Jumpei, Wang Chunyi, Fujihira Kyoko, Tahara Yu, Kim Hyeon-Ki, Nakaoka Takashi, Shibata Shigenobu	4. 巻 77
2. 論文標題 Effects of the timing of acute mulberry leaf extract intake on postprandial glucose metabolism in healthy adults: a randomised, placebo-controlled, double-blind study	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 European Journal of Clinical Nutrition	6. 最初と最後の頁 468 ~ 473
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41430-023-01259-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Kim Hyeon-Ki, Radak Zsolt, Takahashi Masaki, Inami Takayuki, Shibata Shigenobu	4. 巻 5
2. 論文標題 Chrono-exercise: Time-of-day-dependent physiological responses to exercise	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Sports Medicine and Health Science	6. 最初と最後の頁 50 ~ 58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.smhs.2022.11.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Kuwahara Mai, Kim Hyeon-Ki, Furutani Akiko, Mineshita Yui, Nakaoka Takashi, Shibata Shigenobu	4. 巻 19
2. 論文標題 Effect of lunch with different calorie and nutrient balances on dinner-induced postprandial glucose variability	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nutrition & Metabolism	6. 最初と最後の頁 65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s12986-022-00704-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Kim Hyeon-Ki, Furuhashi Shota, Takahashi Masaki, Chijiki Hanako, Nanba Takuya, Inami Takayuki, Radak Zsolt, Sakamoto Shizuo, Shibata Shigenobu	4. 巻 13
2. 論文標題 Late-afternoon endurance exercise is more effective than morning endurance exercise at improving 24-h glucose and blood lipid levels	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Endocrinology	6. 最初と最後の頁 957239
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fendo.2022.957239	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Yui Mineshita, Hiroyuki Sasaki, Hyeon-Ki Kim, Shigenobu Shibata	4. 巻 12
2. 論文標題 Relationship between Fasting and Postprandial Glucose Levels and the Gut Microbiota	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Metabolites	6. 最初と最後の頁 669
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 INAMI Takayuki, YAMAGUCHI Shota, KIM Hyeon-Ki, MURAYAMA Mitsuyoshi	4. 巻 63
2. 論文標題 Localized-bioelectrical impedance vector analysis on mechanical property changes after muscle injury and damage	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness	6. 最初と最後の頁 509-510
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23736/S0022-4707.22.14416-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 金 鉉基、田端宏樹、小西真幸、坂本静男	4. 巻 30
2. 論文標題 女性高齢者における身体活動の増加が血中脂質および血圧に及ぼす影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本臨床スポーツ医学会誌	6. 最初と最後の頁 148-156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kim Hyeon-Ki, Chijiki Hanako, Fukazawa Mayuko, Okubo Jin, Ozaki Mamiho, Nanba Takuya, Higashi Seiichirou, Shioyama Miho, Takahashi Masaki, Nakaoka Takashi, Shibata Shigenobu	4. 巻 8
2. 論文標題 Supplementation of Protein at Breakfast Rather Than at Dinner and Lunch Is Effective on Skeletal Muscle Mass in Older Adults	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Nutrition	6. 最初と最後の頁 797004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnut.2021.797004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mineshita Yui, Kim Hyeon-Ki, Shinto Takae, Kuwahara Mai, Shibata Shigenobu	4. 巻 18
2. 論文標題 Attending a Sports Club Can Help Prevent Visual Impairment Caused by Cram School in Elementary School Children in Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Environmental Research and Public Health	6. 最初と最後の頁 12440 ~ 12440
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijerph182312440	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Aoyama Shinya, Kim Hyeon-Ki, Hirooka Rina, Tanaka Mizuho, Shimoda Takeru, Chijiki Hanako, Kojima Shuichi, Sasaki Keisuke, Takahashi Kengo, Makino Saneyuki, Takizawa Miku, Takahashi Masaki, Tahara Yu, Shimba Shigeki, Shinohara Kazuyuki, Shibata Shigenobu	4. 巻 36
2. 論文標題 Distribution of dietary protein intake in daily meals influences skeletal muscle hypertrophy via the muscle clock	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cell Reports	6. 最初と最後の頁 109336 ~ 109336
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.celrep.2021.109336	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 金 鉉基、難波拓哉、千々木華子、深澤真由子、大久保仁、尾崎真実帆、内田健志、加藤綾華、田中紀雄、鳴海誠、中岡隆志、柴田重信	4. 巻 49
2. 論文標題 朝のスケトウダラの速筋タンパクの摂取が高齢者の骨格筋量および筋力に及ぼす影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 薬理と治療	6. 最初と最後の頁 747-756
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mineshita Yui, Kim Hyeon-Ki, Chijiki Hanako, Nanba Takuya, Shinto Takae, Furuhashi Shota, Oneda Satoshi, Kuwahara Mai, Suwama Anzu, Shibata Shigenobu	4. 巻 21
2. 論文標題 Screen Time Duration and Timing: Effects on Obesity, Physical Activity, Dry Eyes, and Learning Ability in Elementary School Children	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 BMC public health	6. 最初と最後の頁 422 ~ 422
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21203/rs.3.rs-80923/v1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kim Hyeon-Ki, Chijiki Hanako, Nanba Takuya, Ozaki Mamiho, Sasaki Hiroyuki, Takahashi Masaki, Shibata Shigenobu	4. 巻 12
2. 論文標題 Ingestion of Helianthus tuberosus at Breakfast Rather Than at Dinner is More Effective for Suppressing Glucose Levels and Improving the Intestinal Microbiota in Older Adults	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nutrients	6. 最初と最後の頁 3035 ~ 3035
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/nu12103035	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計10件(うち招待講演 0件/うち国際学会 5件)

1. 発表者名 王春弋, 尾崎真実帆, 峯下由衣, 藤平杏子, 田原優, 金 鉉基, 中岡隆志, 柴田重信, 高橋将記
2. 発表標題 昼食欠食が耐糖能およびインクレチンに与える影響
3. 学会等名 第9回日本時間栄養学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 峯下由衣, 高橋将記, 王春弋, 藤平杏子, 田原優, 金 鉉基, 中岡隆志, 柴田重信
2. 発表標題 1-デオキシノジリマイシン摂取の食後血糖値抑制効果は朝食より夕食で高い
3. 学会等名 第76回日本栄養・食糧学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 40.王春弋, 峯下由衣, 藤平杏子, 田原優, 金 鉉基, 中岡隆志, 柴田重信, 高橋将記
2. 発表標題 日中の絶食は夜間の絶食と比較して食後血糖値を高める
3. 学会等名 第76回日本栄養・食糧学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金 鉉基, 古橋捷太, 難波拓哉, 千々木華子, 神藤貴江, 尾根田諭, 田端宏樹, 高橋将記, 坂本静男, 柴田重信
2. 発表標題 朝と夕の短期間持久性運動が24時間の血糖値変動および血中脂質に及ぼす影響
3. 学会等名 日本時間生物学会 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 峯下 由衣, 佐々木 裕之, 金 鉉基, 柴田 重信
2. 発表標題 空腹時および食後血糖値と腸内細菌叢との関連
3. 学会等名 日本時間生物学会 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 桑原麻衣, 金鉉基, 新田理恵, 神藤貴江, 峯下由衣, 梶原勇河, 中満寛太郎, 高橋将記, 柴田重信
2. 発表標題 カロリーや栄養バランスを変えた昼食摂取が夕食時の血糖に及ぼす影響
3. 学会等名 日本時間生物学会 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋将記, 金 鉉基
2. 発表標題 時間運動学的視点に基づく肥満・糖尿病予防
3. 学会等名 日本体力医学会 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金 鉉基, 難波 拓哉, 神藤 貴江, 桑原 麻衣, 千々木 華子, 古橋 捷太, 尾根田 諭, 峯下 由衣, 中岡 隆志, 柴田 重信
2. 発表標題 就寝前の間食の摂取が血糖値変動および睡眠に及ぼす影響
3. 学会等名 日本食糧栄養学会 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 桑原麻衣、金鉉基、尾崎真実帆、難波拓哉、千々木華子、深澤真由子、大久保仁、峯下由衣、高橋将記、柴田重信
2. 発表標題 桑の葉および大麦若葉茶の間食(ビスケット)との同時摂取が 夕食後の血糖値変動に及ぼす影響
3. 学会等名 日本時間栄養学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神藤貴江、金鉉基、千々木華子、難波拓哉、尾根田諭、古橋捷太、勢能あゆみ、柴田重信
2. 発表標題 小学生における朝食時の共食相手と生活習慣との関連
3. 学会等名 日本時間栄養学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------