

令和 5 年 5 月 27 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K11333

研究課題名（和文）サッカーにおける糖代謝と競技パフォーマンスとの関連及び新規糖質摂取法の介入効果

研究課題名（英文）The relationship between glucose metabolism and competitive performance in football and the intervention effects of a novel carbohydrate intake method

研究代表者

上田 真也（Ueda, Shin-ya）

岐阜大学・教育学部・准教授

研究者番号：40616926

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）：本研究では、サッカー競技中の糖代謝調節機構と競技パフォーマンスとの関連を明らかにした上で、新規糖質摂取法であるSleep-Low法のサッカー競技現場への応用可能性を提唱することを目的とした。その結果、サッカー競技後半の¹³C-グルコースを用いた糖代謝量の変化量とボールタッチプレー回数の変化量との間には、有意な中程度の相関関係を認めた。また、短期間の集中的なsleep-low法は、タンパク質の栄養摂取に配慮する必要があるものの、約1週間で最大酸素摂取量の増加と脂質代謝量の亢進を促す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

本研究では、¹³C-グルコースを用いた糖代謝動態の定量評価法と持続血糖測定器を導入し、サッカー競技中の糖代謝調節機構とパフォーマンスとの関連を解明した点において、他に類を見ない独自性を有している。さらに、上記評価法を導入することで、新規糖質摂取法であるSleep-Low法が競技パフォーマンスに及ぼす効果について検証し、その効果に関する生理学（エネルギー代謝）的観点からの理解が深まったことから、本研究は極めて実践的な内容であり、本研究結果を迅速に、かつ科学的根拠をもってスポーツ現場へと落とし込むことが可能であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The aim of the present study was to clarify the relationship between the regulatory mechanisms of glucose metabolism during football competition and competition performance, and to advocate the potential application of the Sleep-Low method, a novel glucose intake method, to the field of football competition. As a result, a significant moderate correlation was found between the amount of change in glucose metabolism using ¹³C-glucose and the number of ball touch plays in the second half of the football game. It was also suggested that the intensive sleep-low method for a short period of time may promote an increase in maximal oxygen uptake and an increase in lipid metabolic rate in approximately one week, although protein nutritional intake should be taken into consideration.

研究分野：運動生理学、エネルギー代謝

キーワード：糖代謝 サッカー

1. 研究開始当初の背景

運動時、筋収縮のためのエネルギー源として、重要な役割を果たすのが糖質である。特に、肝臓に貯蔵されたグリコーゲンは、血糖値の維持に貢献し、肝臓からのグルコース放出は、競技パフォーマンスに大きく影響すると考えられる。運動時の血糖値について、最大酸素摂取量の60%前後の運動では、インスリンやグルカゴンといった内分泌を介して、一定範囲に調整されるが (Jenkins et al. 1986) 80%を超えるような高強度運動では、低血糖を防ぐために、血糖値が上昇する (Kjaer et al. 1986、Sigal et al. 1994)。サッカーのような間欠の高強度運動では、ゲーム中の激運動の繰り返しによる瞬時代謝量が、数秒で安静時の5~10倍程度に至るまで劇的に変化する。従って、活動筋に必要な糖質を時間遅れなく供給するために、極めて迅速な糖代謝調節が行われていると考えられる。我々は、大学生サッカー選手における高強度運動中の血糖値が、その他の大学生アスリート(柔道部員や野球部員)に比べて、高値を示すことを確認している(科学研究費 NO.26750316)。また、その他の先行研究においても、類似の結果が示されており (Coggan et al. 1995、仙石ほか. 2011) サッカー競技中における血糖値の上昇は、エネルギー代謝の観点から、競技パフォーマンスを考察する上で重要な生理指標であると考えられる。これまでに、サッカー競技中における血糖変動を観察した報告は散見されるが (Russell et al. 2014) 測定タイミングが試合前後やハーフタイムに限られており、測定ポイントが極めて少ない。また、血糖変動と同時に糖質の代謝量についてもモニタリングできれば、サッカー競技中におけるエネルギー代謝の調節機序の理解が深まる。血糖値や糖代謝動態の変化がサッカーの競技パフォーマンスに及ぼすのかについて検討した報告は、極めて少ないのが現状である。

上述の通り、サッカーのような間欠の高強度運動では、糖質が主要なエネルギー基質であるため、糖質の摂取方法は競技パフォーマンスに多大な影響を及ぼすと考えられる。近年、ミトコンドリアやAMP依存性プロテインキナーゼ (AMPK) の活性を考慮した、分子メカニズムに基づく新たな糖質摂取法が提案されている。例えば、体内のグリコーゲンの回復には、運動後の速やかな糖質摂取が一般的に推奨されていたが、新規糖質摂取法として提案された Sleep-Low 法は、トレーニング後の糖質摂取をむしろ控える方法である (Marquet et al. 2016)。夕方に筋グリコーゲン濃度が高い状態で高質高強度トレーニングを行い、その後の夕食では糖質を含まない食事を摂取し、筋グリコーゲン濃度が低い状態で睡眠をとる。この結果、ミトコンドリアやAMPKの遺伝子発現が高まる。さらに、翌朝にも低強度の持続的トレーニングを行い、遺伝子発現を高めた後、朝食と昼食で十分量の糖質を摂取し、夕方の高強度トレーニングを実施することで、持続的パフォーマンスが向上することが示されている。しかしながら、基礎研究とスポーツ競技現場をつなぐ橋渡し研究が未だ不足しているために、Sleep-Low 法をはじめとした新規糖質摂取法が競技パフォーマンスに及ぼす効果やその機序が不明瞭であり、競技現場での積極的な活用には至っていない。

2. 研究の目的

本研究では、下記研究テーマに対して段階的に取り組み、サッカー競技中の糖代謝調節機構と競技パフォーマンスとの関連を明らかにした上で、新規糖質摂取法である Sleep-Low 法のサッカー競技現場への応用可能性を提唱することを目的とした。

研究 (2020年度): 新規糖質摂取法である Sleep-Low 法の介入実験に関する予備実験として、短期間に集中的に行う Sleep-Low 法が全身持久力や糖代謝応答に与える影響について検討することを目的とした。

研究 (2021年度): サッカー競技中における血糖値および糖代謝動態の変化が競技パフォーマンスに与える影響について明らかにすることを目的とした。

研究 (2022年度): 新規糖質摂取法である Sleep-Low 法の介入がサッカー競技中における糖代謝動態および競技パフォーマンス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

研究 (2020年度)

対象は、体育会クラブに所属する大学生とし、夕飯に糖質が含まれる食事を摂取するコントロール群と夕飯に糖質制限食を1週間摂取する Sleep-Low 法群を設けた。介入前後に、最大酸素摂取量、一定負荷運動時における呼吸交換比、体組成等を測定した。

研究 (2021年度)

対象は、大学体育会クラブに在籍する男子サッカー選手とした。持続血糖測定器を用いて、サッカー競技中における血糖値の変化を測定するとともに、競技前後およびハーフタイムには、

¹³C-グルコースを用いた糖代謝量の測定および血中乳酸値の測定を行った。従来、血糖値の測定には、指尖より採取する微量血液サンプルを用いていたが、この方法では、継続的に血糖変動をモニタリングすることが困難であった。本研究では、臨床現場において、糖尿病患者の治療法の検討に活用されてきた持続血糖測定器（FreeStyle リブレ Pro システム）を用いた。この測定器は、皮下に留置したグルコースセンサーから間質液中のグルコース濃度を連続的に記録するため、サッカー競技中の血糖変動を常時モニタリングすることが可能である。本研究では、この持続血糖測定器をスポーツ競技現場に応用した。また、これまでスポーツ競技現場では測定困難であった糖代謝動態のモニタリングについて、本研究では ¹³C 安定同位体比分析を応用し、糖質の燃焼動態を測定した。従来、¹³C 安定同位体比分析は、消化器疾患を有する患者を対象に、胃排出能や消化吸収能を臨床評価する際に用いられてきた。¹³C を標識したエネルギー基質を経口投与し、呼気より排出される CO₂ から経口投与した基質の代謝量を求める評価法である。本研究では、この ¹³C-グルコースを用いた糖代謝動態の定量評価法と持続血糖測定器を導入し、サッカー競技中の糖代謝調節機構とパフォーマンスとの関連について検討した。さらに、ウェアラブル GPS トラッキングシステムを使用して、総走行距離・高強度ランニング距離（時速 15km 以上の走行距離）・心拍数等の変化を計測した。さらに、戦術または技術的評価については、ビデオカメラを用いてサッカー競技中の映像を撮影し、日本サッカー協会公認指導者ライセンスを有するサッカー指導者が分析を行った。

研究（2022 年度）

大学体育会クラブに在籍する男子サッカー選手を対象に、夕飯に糖質制限食を 1 週間摂取する Sleep-Low 法を介入した。研究と同様に、持続血糖測定器を用いて、サッカー競技中における血糖値の変化を測定するとともに、競技前後およびハーフタイムには、¹³C-グルコースを用いた糖代謝量の測定および血中乳酸値の測定を行った。また、ウェアラブル GPS トラッキングシステムを使用して、総走行距離・高強度ランニング距離（時速 15km 以上の走行距離）・心拍数等の変化を計測した。さらに、戦術または技術的評価については、ビデオカメラを用いてサッカー競技中の映像を撮影し、日本サッカー協会公認指導者ライセンスを有するサッカー指導者が分析を行った。

4. 研究成果

研究（2020 年度）

Sleep-Low 法群の最大酸素摂取量や最大仕事量は有意に増加し、呼吸交換比や体重については、有意に減少した。しかしながら、Sleep-Low 法群の除脂肪体重についても有意に減少した。以上のことから、短期間の集中的な Sleep-Low 法は、タンパク質の摂取状況については配慮が必要であるものの、最大酸素摂取量の増加や糖質燃焼量の抑制に寄与することが示唆された。

研究（2021 年度）

血糖値および血中乳酸値については、競技開始時からハーフタイム時にかけて有意に上昇したが、血中乳酸値については、競技終了時の値がハーフタイム時に比べて有意に低値を示した。また、¹³C-グルコースを用いた糖代謝量については、競技開始時からハーフタイム時までは有意に上昇し、競技終了時には、競技開始時と同程度の値に戻った。さらに、競技後半の ¹³C-グルコースを用いた糖代謝量の変化量とボールタッチプレー回数の変化量との間には、有意な中程度の相関関係を認められた。

研究（2022 年度）

1 週間の Sleep-Low 法の介入により、サッカー競技前にサプリメントとして補給した外因性グルコースの代謝を抑制したが、競技パフォーマンスの改善にまでは至らなかった。

以上のことから、短期間の集中的な Sleep-Low 法は、タンパク質の摂取状況については配慮が必要であるものの、最大酸素摂取量の増加や糖質燃焼量の抑制に寄与することが示唆された。また、サッカー競技中における糖代謝動態の変化が競技パフォーマンスに影響を与える可能性についても示唆された。さらに、1 週間の Sleep-Low 法の介入により、サッカー競技前にサプリメントとして補給した外因性グルコースの燃焼を抑制することも示され、脂質燃焼の亢進にも関与している可能性が示唆された。

体内でアデノシン三リン酸（ATP）を再合成する主なエネルギー基質は、糖質と脂質である。本研究により、糖質に関するサッカー競技中の代謝動態やパフォーマンスとの関連については明らかにしてきたものの、脂質代謝に関するアプローチについては、皆無である。今後、¹³C パルミチン酸などを用いて、サッカー競技中における脂質の代謝動態やパフォーマンスとの関連についても検討していく必要があると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yamanaka A, Otsuka H, Otsuka D, Ueda S, Diaz-Cidoncha JG, Sugiyama M.	4. 巻 7
2. 論文標題 Evaluation of Football Pass Extraction Using the Offence/Defence Model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Sports and Physical Education	6. 最初と最後の頁 19-35
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20431/2454-6380.0701004	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 坂本拓巳, 中原英博, 坂口芽以子, 玉木蒼一郎, 原裕昭, 上田真也	4. 巻 66
2. 論文標題 日本サッカー協会公認キッズリーダーによるサッカー指導が幼児におけるミニゲーム中の心拍応答に与える影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 教育医学	6. 最初と最後の頁 242-251
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.32311/jsehs.66.4_242	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 Nakahara H, Ueda S, Miyamoto T	4. 巻 11
2. 論文標題 Low Frequency Severe-Intensity Interval Training Markedly Alters Respiratory Compensation Point During Incremental Exercise in Untrained Male	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology	6. 最初と最後の頁 1100
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fphys.2020.01100	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 須佐徹太郎, 黒部一道, 上田真也	4. 巻 55
2. 論文標題 2019年度後期リーグ準備期(8月初旬)における阪南大学サッカー部の有酸素能力に関する考察 : オールウェザートラック,人工芝ピッチでの血中乳酸濃度の比較	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 阪南論集. 人文・自然科学編	6. 最初と最後の頁 105-115
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 無
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 坂本拓巳, 中原英博, 坂口芽以子, 阪本匠馬, 滝航大, 玉木蒼一郎, 原裕昭, 山中亮, 上田真也	4. 巻 67
2. 論文標題 週1回のサッカー教室に参加する幼児のミニゲームに対する心拍応答	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 教育医学	6. 最初と最後の頁 217-225
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.32311/jsehs.67.4_217	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 Ueda S, Sakamoto T, Tamaki S, Sakaguchi M, Taki K, Sakamoto S, Ogata R, Sone M, Yamanaka A, Nakahara H	4. 巻 67
2. 論文標題 Effects of aerobic exercise on appetite and plasma acylated ghrelin concentrations in athletes: Comparisons with obese and normal body weight subjects	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Education and Health Science	6. 最初と最後の頁 208-216
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.32311/jsehs.67.4_208	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 -

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 坂本拓巳, 中原英博, 小縣良, 曾根未宇, 上田真也
2. 発表標題 短期間のSleep-Low法が脂質代謝に及ぼす影響
3. 学会等名 第77回日本体力医学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小縣良, 坂本拓巳, 曾根未宇, 上田真也
2. 発表標題 運動強度の違いが外因性グルコースの酸化動態に与える影響
3. 学会等名 第30回日本運動生理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂本拓巳、中原英博、小縣良、曾根未宇、上田真也
2. 発表標題 サッカー選手の競技レベルの違いが間欠的スプリント運動中における心拍数及び血中乳酸動態に与える影響
3. 学会等名 第30回日本運動生理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂本拓巳、中原英博、坂口芽以子、阪本匠馬、滝航大、玉木蒼一郎、小縣良、曾根未宇、上田真也
2. 発表標題 サッカー選手の間欠的スプリント運動中における血中乳酸動態は競技レベルによって異なる
3. 学会等名 第68回日本教育医学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上田真也、坂本拓巳、滝航大、阪本匠馬、玉木蒼一郎、坂口芽以子、中原英博
2. 発表標題 サッカーのパス技能に関する簡便な評価法としての5ポイントパスの妥当性
3. 学会等名 第75回日本体力医学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 滝航大、坂本拓巳、阪本匠馬、坂口芽以子、玉木蒼一郎、上田真也
2. 発表標題 新型コロナウイルス感染症拡大による自粛期間とオンライントレーニングが乳酸蓄積開始点に与える影響
3. 学会等名 第28回日本運動生理学会
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
研究 分担 者	中原 英博 (Nakahara Hidehiro) (90514000)	森ノ宮医療大学・保健医療学部・教授 (34448)	

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
---------	---------