

令和 5 年 6 月 27 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K10909

研究課題名(和文) 疲労回復を促進する実用的栄養処方確立にむけた基盤研究～水分と糖質補給の観点から～

研究課題名(英文) Fundamental Research to Establish Practical Nutritional Formulas to Promote Fatigue Recovery

研究代表者

海老根 直之 (EBINE, Naoyuki)

同志社大学・スポーツ健康科学部・教授

研究者番号：30404370

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究を通じて得られた主要な知見をまとめると、以下の通りである：
固形食摂取時に飲料を同時摂取すると、固形食に含まれる糖質の消化管での吸収は促進される。高濃度の糖質溶液は糖質の急速補給には有効であるが、水分の補給においては効果が薄い。脱水のない状態の時、飲料を通じて水分を補給すると尿は増産されるが、固形食を介して水分を摂取した場合には尿量は変化しない。難消化性デキストリンのグルコース吸収阻害作用は、糖代謝に異常のない若年者では生じないと思われる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

運動後の回復において、運動で失われた体水分とエネルギーの補充を効果的に達成するためには、水分と糖質の速やかな補給に意識を置く必要がある。本研究は、安定同位体標識技術を用いた特徴的な試験方法で、アスリートの疲労回復を下支えする信頼性の高い知見を得ようと試みた基礎研究である。また、本研究を介して得られた知見のうち、水分補給に関する情報は夏期に生じる脱水時の水分補給にも役立つことが可能であり、日常生活にも役立つ汎用性の高い知見が取得できている。

研究成果の概要(英文)：The main findings of this study are summarized as follows:

(1) The absorption of carbohydrates contained in solid foods in the gastrointestinal tract is accelerated when beverages are consumed at the same time as solid foods. (2) High-concentration carbohydrate solutions are effective for rapid carbohydrate replacement, but are less effective for rapid water replacement. (3) When water is replenished through beverages, it is easily excreted as urine, but when water is ingested through solid foods, the urine volume does not increase. (4) The delayed effect of indigestible dextrin on glucose absorption is not likely to occur in young subjects with no abnormalities in glucose metabolism.

研究分野：スポーツ栄養学

キーワード：糖質補給 水分補給 安定同位体 吸収

1. 研究開始当初の背景

運動によって生じる体水分の減少および肝臓や筋肉に貯蔵されたグリコーゲンの減少は、疲労の原因となり運動パフォーマンスの低下をもたらす(Maughan et al., 2001)。とりわけ、1日に幾度もの試合が組まれ、限られた補給時間の中で体内環境を回復させる必要がある状況においては、速やかな吸収を目的に開発された水分と糖質を含むスポーツ飲料の摂取が推奨されている。経口摂取された物質は、消化管で吸収されることで効果が発現するので、各種栄養素の吸収速度を高める方策は効果的な補給を実現するために極めて重要である。

吸収速度には、胃を通過する速度、ならびに小腸での吸収速度が密接に関与しており、これらは飲料の組成や量の影響を受けることが知られている(Leiper, 2015)。多くの場合、市販のスポーツ飲料の成分は、飲料を単独摂取する場合を想定して最適化が図られているが、実際のスポーツ現場では、飲料の摂取前後に他の食物(例えば昼食など)が摂られるケースが少なくない。固形食物の消化には数時間を要することから、我々は、飲料の吸収は前後に摂取する食物によって大きな影響を受けるのではないかと考え、評価方法に安定同位体標識法を導入し、飲料の水分吸収速度に着目したパイロットスタディを行ってきた。この結果、固形食の摂取直後にスポーツ飲料を摂った場合、飲料単独摂取時に比べて水分の吸収が顕著に遅延することが明らかとなった。また、摂取順序を入れ替え、飲料の摂取を先にすることで飲料の栄養素の吸収は遅延しないことも明らかとなっている。これらの知見は、食物との組合せや摂るタイミング、そして摂取順序により補給効果が大きく左右されることを示している。

我々は飲料の水分吸収速度が食物の摂取状態によって影響を受けることを確認した。これは水成分に限られた知見であったが、他の栄養素に対しても展開可能な考えである。運動中の貴重なエネルギー源である糖質は、運動後の摂取タイミングが補給効果と密に関係することが知られており、運動直後の摂取は30分以降の摂取に比べて筋グリコーゲンの回復に優れると報告されている(稲井ら, 2017)。この背景として、運動直後に生じる小腸での糖の吸収速度の亢進を受けてのグリコーゲン合成に利用できる糖の供給量の増加、そして血糖値の上昇による骨格筋の糖取り込みに寄与するインスリンの分泌促進が考えられており、グリコーゲン回復のためには、運動後に糖質をいかに速やかに吸収させインスリン分泌を促進できるかが鍵を握っていると言えよう。飲料と食物の摂取様式が、競技成績を大きく修飾するとされる糖質の消化管での吸収へ及ぼす影響を明らかにする意義は大きい。

飲料の吸収速度や摂取効果に関する検討は国内外で精力的に行われているが、従来の研究の多くは空腹状態・飲料単独摂取条件で行われており、他の食物の摂取が伴うスポーツ現場の状況とは乖離が認められる。食物摂取により飲料の吸収速度(Fisher et al., 1982)やその効果(Rollo & Williams, 2010)が異なるとする報告は散見されるが、実験条件が限定的で、食物が飲料の吸収に及ぼす影響の詳細や、これを踏まえた補給法は判明していない。近年、先行研究における実験前の食事条件(食事の有無や内容など)の差異が、試験飲食物の摂取効果に対する見解の不一致を招いている可能性も指摘されている(Lee et al., 2014)。食物と液体が互いの消化吸収過程に及ぼす影響の詳細を整理できれば、当該分野の研究を加速させ至適な栄養処方法の確立に貢献できるであろう。

2. 研究の目的

これまでに当該研究分野で多用されてきた水分吸収の評価方法は、一定量の脱水により血液を濃縮させ、飲料摂取による回復具合によって評価するという、事前処置が必須な間接的な手法が主流であった。体内には多様な形で水が存在し、細胞内外を適宜移動している。飲料以外に固形食物中の水分も関与している事実を踏まえると、血液濃度のみによる判定では水分補給における飲料の貢献を厳密に評価することは難しい。そこで本研究では、同位体標識技術によるユニークなアプローチで知見を得ることに主眼を置いた。これは、安定同位体で水分子自体にマーキングした飲料を服用させた後、体液中の同位体濃度を経時測定することで水分の吸収動態を観察する方法であり、運用ならびにその後の試料分析には高度な技術が要求されるため、世界的にも希少な知見となる。なお、飲料と食物の組み合わせを考慮した栄養補給法を検討していくためには、固形食物中の水分の吸収特性を把握しながら、それぞれの在り方を検討することが重要であるが、これを試みた研究事例は未だに見られないため、これを安定同位体標識により評価した。また、水分と共に現場で重要視される糖質の補給に関する検討も併せて実施した。さらに糖質の吸収を阻害する物質を同時摂取した場合にどの程度の吸収遅延が生じるのかについても複数の条件で検討し、糖質補給を効果的に実施するために役立つ知見の取得を試みた。

3. 研究の方法

(1) 飲料水分と固形食水分の吸収速度比較

実験1: 飲料と固形食の水分量を統一しての検討

健康な男子大学生10名を対象者とし、飲料を摂取させる試行(飲料試行)と、米飯を摂取さ

せる試行(米飯試行)を最低3週間の間隔を空けて行わせた。順序効果が発生しないよう2試行を無作為に割りつけるクロスオーバー試験で実施した。両試行で飲料と米飯の水分量を150g(重水素水 3.5gを含む)に統一した。測定項目は血漿ならびに尿の同位体濃度、血液成分(血糖値、浸透圧、ヘマトクリット値、ヘモグロビン値)、尿重量、満腹感、口渇感とした。水分吸収速度については、体内の同位体濃度を反映する血液と尿を経時的に採取し、その濃度変化を追うことで評価した。試料の同位体濃度は福岡大学身体活動研究所の協力を得て安定同位体比質量分析装置(IRMS)にて分析した。

実験2：飲料と固形食の水分量と糖質量を統一しての検討

健康な男子大学生10名を対象者とし、高糖質飲料を摂取させる試行(高糖質水試行)と、米飯を摂取させる試行(米飯試行)を最低3週間の間隔を空けて行わせた。順序効果が発生しないよう2試行を無作為に割りつけるクロスオーバー試験で実施した。両試行で、飲料と米飯の水分量を150g(重水素水 3.5gを含む)に、さらに飲料の糖質量はご飯に合わせて65gに調整した。評価項目については、実験1で評価した項目に胃部不快感を追加した。

(2)糖質の吸収遅延に関する検討

実験1：難消化性デキストリンが食後血糖値に及ぼす影響

難消化性デキストリンには、水に溶解して食事と共に摂取させことで壮中年期の血糖高値者における、血糖値上昇の緩和作用が報告されている。そこで本研究では難消化性デキストリンが食後血糖値に及ぼす影響を2種の溶媒量で検討した。

疾患のない大学生男女10名を対象とした。試験食(市販のインスタント焼きそばとおにぎり)を摂取する対照試行に対して、上記試験食と水(200mlもしくは500ml)を摂取する試行、ならびに試験食と難消化性デキストリン(小麦由来、大東物産)を5g添加したデキストリン飲料(200mlもしくは500ml)を摂取する試行を設定し、クロスオーバー法にて検討した。血糖値を主要項目とし、食前ならびに食後30分、60分、90分、120分に測定した。なお、血糖値の測定は、採血から血液の分析までを被検者自身が穿刺器具およびグルコース分析器(アントセンスロゼ LP-141, 堀場製作所)を用いて実施した。

実験2：難消化性デキストリン添加米飯が食後血糖値に及ぼす影響

実験1の結果を受け、若年者を対象とした追検討として、溶媒とした水の摂取の影響を取り除いた条件で難消化性デキストリンの作用を検証するため、米飯に直接難消化性デキストリンを添加する試験デザインで血糖値評価試験を行った。

空腹時血糖値が70~126mg/dlの大学生男女10名を対象者とした。前日および当日の過ごし方が測定値に影響を及ぼすことを避けるため、食事・運動・睡眠を統制した上で試験を実施した。試験食は市販のレトルトパウチを利用した親子丼とし、通常米飯150gの親子丼を摂取する対照試行と、5gの難消化性デキストリンが含まれるよう炊飯した米飯150gの親子丼を摂取するデキストリン試行を実施した。血糖値は食前に加え食後は30分おきに試験食摂取2時間後まで安静を保持させて測定し、2回の平均値を時点毎の代表値とした。なお、血糖値の測定は、採血から血液の分析までを被検者自身が穿刺器具およびグルコース分析器(メディセーフフィットプロ, テルモ)を用いて実施した。

4. 研究成果

(1)飲料水分と固形食水分の吸収速度比較

相対同位体濃度

実験2の結果として、高糖質水試行と米飯試行のいずれにおいても、試験食摂取後に血漿の相対同位体濃度が時間と共に緩やかに上昇した。なお、いずれの時点においても試行間に相対同位体濃度の差はみられなかった。本検討と同量の水分を摂取させた実験1にて、米飯に含まれる水分と比べて飲料として摂取した水分は吸収速度が速いことが確認されたのにも関わらず、高糖質飲料と米飯の水分は同等の速度で吸収されることが明らかとなり、糖質濃度を高めた飲料は液体であるにも関わらず水分の吸収速度が著しく遅いと推察された。

尿重量

実験1と実験2の米飯試行では共通していずれの時点においても、試験食摂取後に尿重量の変化はみられなかった。一方で、実験1の飲料試行では、摂取60分時点で尿量が飲料摂取前に比べて2倍程度に増加した。実験2の高糖質水試行においてはより顕著な反応を認め、60分時点から増加し、90分時点では3倍程度にまで高まり米飯試行に対して有意な差が検出された。相対同位体濃度において、高糖質飲料の水分吸収はゆるやかという知見が得られたにも関わらず、高糖質飲料の摂取後は尿の生成が促進されるユニークな結果が示された。

血糖値

実験2の高糖質水試行と米飯試行のいずれにおいても、試験食摂取後15分時点から血糖値の上昇がみられた。実験規模を主要項目である同位体濃度に最適化したため、血糖値についてはいずれの時点においても試行間に統計学的な差はみられなかったが、平均値を比較すると食後15分から60分に至るまで高糖質水試行が一貫して高値であった。両試行で

おむね同量の糖質を摂取させたが、飲料から糖質を摂取した場合に、血糖値の上昇が速やかであった。

まとめ

飲料に比べて米飯の水分の吸収は遅いことが確認された。加えて、飲料が米飯と同量の糖質を含んでいる場合には、飲料の水分吸収が米飯同等にゆるやかになることが明らかとなった。また、水や高糖質飲料から水分を摂取した場合には、摂取後に尿の生成が促進される現象が観察された。尿は膀胱に貯留されるため、体水分としての機能は果たすことができない。このため、対象者が置かれた状況によっては、摂取した水分を体内に保持できる固形食から水分を補給することが効率的となる。本研究では数ある固形食の中から米飯を選択して、水分吸収速度を評価した。米は糖質が主成分であり、吸水性が高いという特徴があるため、結果の一般化には更なる検討を要す。

(2)糖質の吸収遅延に関する検討

実験 1：難消化性デキストリンが食後血糖値に及ぼす影響

デキストリン飲料(200ml または 500ml)を摂取させた 2 つの試行は、対照試行に比べて食後 30 分の血糖値が高値となった。また、水 500ml 試行の食後 30 分値は、対照試行に比べて高い傾向にあった。一方で水 200ml 試行の食後 60 分値は、対照試行に対して低値であった。実験 1 において、小麦由来の難消化性デキストリンに食後血糖値の上昇を抑制する作用は確認されなかった。むしろ試験食摂取 30 分後の血糖値については、難消化性デキストリン飲料を摂取した 2 つの試行で対照試行に対して 15%程高い値となり、糖質が速やかに吸収されている様子がうかがえた。対象者が血糖値異常のない若年者の場合には、食事中に糖質の吸収を阻害する物質が含まれていた場合でも、その影響は限定的となる可能性が示された。なお、食事と共に 500ml 程度の水を摂取した場合には、食事中の糖質の吸収は促進されることが示唆された。

実験 2：難消化性デキストリン添加米飯が食後血糖値に及ぼす影響

いずれの測定時点においても対照試行とデキストリン試行の間で血糖値に差は認められなかったが、デキストリン試行では食後 60 分において若干高い値が観察された。なお、デキストリン試行には 30 分後と 60 分後で血糖値のばらつきが大きくなる傾向が観察された。2 試行の曲線下面積を比較した場合にも試行間で差は認められず、本研究が対象とした若年者においては難消化性デキストリンの食後血糖値の上昇抑制作用は観察されなかった。

実験 1 で実施した若年者対象の水を溶媒とした検討結果から、食事の際の水分摂取は固形食中の糖質の吸収を促し、水分摂取量が増えるほどその効果が顕著になった。さらに吸収阻害の作用を持つ難消化性デキストリンの存在下でもこの現象は観察されたことから、固形食と同時に水を摂取した場合の糖質吸収促進作用は、難消化性デキストリンの阻害作用よりも強力なものと推察された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 石井沙季, 東大樹, 森川綾子, 鈴木睦子, 三宅由記, 中江悟司, 北條達也, 檜垣靖樹, 田中宏暁, 海老根直之.
2. 発表標題 重水希釈法を比較基準とした生体電気インピーダンス式身体組成計の妥当性の検証
3. 学会等名 第28回体力・栄養・免疫学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三宅由記, 鈴木睦子, 田中歌, 中江悟司, 北條達也, 檜垣靖樹, 田中宏暁, 海老根直之.
2. 発表標題 2種類の安定同位体を用いた飲料水分と固形食中水分の吸収速度評価 - 温度の観点から -
3. 学会等名 第28回体力・栄養・免疫学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 市川真綾, 久保田真衣, 高濱魁太, 海老根直之.
2. 発表標題 小麦由来の難消化性デキストリンが食後血糖値に及ぼす影響の検討
3. 学会等名 第68回日本栄養改善学会学術総会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 市川真綾, 山戸美沙, 海老根直之.
2. 発表標題 難消化性デキストリンを添加した米飯が食後血糖値に及ぼす影響
3. 学会等名 第30回体力・栄養・免疫学会大会
4. 発表年 2022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	北條 達也 (HOJO Tatsuya) (40298740)	同志社大学・スポーツ健康科学部・教授 (34310)	
研究 分担者	中江 悟司 (NAKAE Satoshi) (80613819)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・産総研特別研究員 (82626)	

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