

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 13 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350812

研究課題名(和文) 運動による呼気中アセトン濃度変動要因の解析

研究課題名(英文) Effect of food, time, exercise type and intensity on exhaled acetone during exercise

研究代表者

永峰 康一郎 (Nagamine, Koichiro)

名古屋大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：10242843

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：アセトンは脂質代謝によって体内で生成され、呼気や尿として排出される。従って呼気に含まれるアセトンは脂質代謝の指標となり得る。本研究では脂質代謝の主因である運動を実施し、食事・種目・強度など様々な要因が運動中や運動後の呼気中アセトンや血液成分に与える影響について検討を行った。その結果全ての実験において、運動開始前と比べて運動中または運動終了後から呼気中アセトンは有意増加した。また運動により脂肪分解やアセトン産生が促進されたことが血液成分変動から認められた。一方、食事・種目・強度の違いによる呼気中アセトンへの多様な影響が明らかとなり、指標化に向けて更なる検討が必要との課題を残した。

研究成果の概要(英文)：Acetone is produced in lipolysis, and exhausted with exhaled air and urine. Therefore, acetone contained in the exhaled air is expected to be an indicator of lipolysis in our body. The purpose of this study was to examine the effect of various factors such as meal intake on the expired acetone and blood components during and after exercise by several exercise experiments. In all conditions, expired acetone significantly increased during or after exercise compared to before exercise. Judging from variations in blood components, lipolysis and production of acetone in their bodies were promoted by exercise. However, the differences about variation in expired acetone were observed by several factors such as meal after exercise, exercise intensity, combination of different types of exercise. In conclusion, acetone contained in the exhaled air might be useful as the indicator of lipolysis, if we adequately consider the conditions about exercise and meal.

研究分野：情報科学

キーワード：生体ガス アセトン 脂質代謝 運動負荷実験

### 1. 研究開始当初の背景

(1) メタボリックシンドロームという言葉に代表されるように、内臓脂肪型肥満により生活習慣病が併発されることはよく知られている。この内臓脂肪を減らす方法の一つに運動習慣を持つことがある。しかしながら、どの程度運動したら具体的にどの程度内臓脂肪が減少するのか簡単に知ることができる指標がほとんどない。そのため運動の効果が実感しにくく、長続きしない場合も多い。もしそのような指標があれば、より効果的に運動を行うことができ、国民の健康増進に役立つと考えられる。本研究ではこの指標として、呼気中に微量に含まれるアセトンに着目した。体内で脂質が代謝されると、アセト酢酸、3 - ヒドロキシ酪酸、そしてアセトンが生成される。このうちアセト酢酸と3 - ヒドロキシ酪酸は体内で再びエネルギー源として再利用されるが、アセトンのみそのまま呼気あるいは尿から体外へ排出される。したがって呼気中のアセトン濃度には脂質代謝に関する情報が含まれている可能性が高い。

(2) 本研究開始以前に実施した予備実験により、運動による呼気中アセトン濃度の変動が、血液成分の変動に着目した先行研究と符合した結果となるなどの成果が得られた。しかし予備実験では、運動強度は被験者の心拍数を基準としたものであり、いわば定性的な結果であった。したがって被験者毎に運動強度を最大強度の何%と定量的に設定して運動負荷実験を実施する必要がある。またアセトンは脂質代謝において最終産物である。したがって体内の脂肪が分解されてから呼気中の濃度が増加するまでに様々な過程を経ており、この過程で運動だけではない、食事などの様々な影響を受ける。したがってアセトンの濃度変化にはこれらの影響も含まれていることは十分考えられ、それらの影響を評価する必要があった。

### 2. 研究の目的

予備実験で得られた問題点を踏まえて、本研究では以下の2点を取り入れて運動負荷実験を実施した。

- ・あらかじめ最大酸素摂取量の測定により被験者毎に最大強度を決定し、それに基づいて運動強度を設定する。

- ・運動前後に被験者の血液を採取し、体内の脂質代謝に関係する成分を分析する。

これらの運動負荷実験によって、様々な条件下での呼気中アセトンおよび血液成分についての基礎的データを蓄積し、それを用いて呼気中アセトン濃度の変化に影響を及ぼす要因について解析を行い、最終的に運動による呼気中アセトン濃度の変動を抽出できるようにすることが本研究の目的である。

### 3. 研究の方法

(1) 本研究では、被験者から運動前後の呼気

ガスを採集し、その中に含まれるアセトンを分析する運動負荷実験によって、運動に伴う呼気中アセトン濃度の変動について検討を行った。また一部の被験者については、運動前後における血液成分の変動を見るため、運動前、運動中、運動後に採血を行った。本研究はあらかじめ名古屋大学大学院情報科学研究科倫理審査の承認を得た。また、被験者には本研究の主旨、実験方法について事前に説明を行い、文書による同意を得た上で実施した。

(2) 被験者に与える運動負荷の強度を定量的に決定するため、運動負荷実験に先立って各被験者の最大酸素摂取量 ( $VO_{2max}$ ) の測定を本学総合保健体育センターの石田・片山研究室で行った。この測定には自転車エルゴメーターを用いて、ペダル回転速度を毎分60回転に規定して行った。初期負荷を運動習慣のある者は90W、運動習慣のない者は60Wとし、疲労困憊にいたるまで1分毎に15Wずつ増加させる連続的多段階漸増負荷法を用いた。疲労困憊の状態は、ペダル回転数が維持できなくなった時点とした。

(3) 本研究では、一部の実験において自転車エルゴメーターを用いた自転車運動に加え、トレッドミルを用いた速歩運動を実施した。トレッドミルによる測定では、被験者は運動時に自動制御されたベルトコンベア上を歩く。高負荷時に自分の意志でペダルから足を離し、運動を中止することができる自転車エルゴメーターと違い、トレッドミルではベルトコンベアが常に動いているため、歩行を急に中断すると転倒などの危険が伴う。従ってトレッドミルによる最大酸素摂取量測定では高負荷時に安全面で問題が生じる可能性がある。そこで本研究では、最大酸素摂取量に代わる相対的運動強度として心拍数を基準として運動強度を決定した。

(4) 本研究では、呼気の採取と心拍数の測定を運動開始30分前、同15分前、運動開始直前、運動開始15分後、同30分後、同45分後、同60分後、同75分後、同90分後、運動終了15分後から15分間隔で運動終了240分後(運動開始330分後)まで計25回行った。採取した呼気はFIDガスクロマトグラフを用いてアセトンを分析した。なお呼気中アセトンについては、運動開始直前の値を基準として相対的変動を示す呼気中アセトン濃度比を用いて結果を示した。また一部被験者については、運動中の血液成分の変動を見るために運動直前、運動開始45分後(運動中)、運動終了直後、運動終了120分後に採血を行った。採取した血液について、脂肪分解時に生成される遊離脂肪酸、脂質代謝の促進物質カテコールアミンの一種であるノルアドレナリン、糖代謝を促進させる一方で脂質代謝を阻害するインスリン、糖代謝の指標であるグ

ルコース、そしてアセトンと共に生成される総ケトン体の5種類の成分を分析した。

(5) 本研究では様々な要因が呼気中アセトンに与える影響について検討するため、以下の項目について実験を実施した。

- ・運動前の食事の有無による影響
- ・運動実施時間帯による影響
- ・運動実施後の食事成分による影響
- ・運動種目による影響
- ・運動強度による影響

#### 4. 研究の成果

##### (1) 運動前の食事摂取による影響について

予備実験では11時間以上絶食後に運動負荷実験を実施し、その結果、運動開始前と比べて呼気中アセトン濃度比は運動中から有意に増加した。しかし、日常生活において11時間以上絶食した後に運動を行うことは稀である。そこで本実験では、運動開始2時間前にカロリーコントロールされた負荷食を提供し、運動負荷実験を行った。その結果、摂食した場合でも運動に伴い呼気中アセトン濃度は運動実施前と比べて運動中から有意に増加した。従って、運動前の食事摂取の有無に関わらず呼気中アセトン濃度を脂質代謝の指標として用いることができる可能性が示唆された。

##### (2) 運動実施時間帯による影響について

(1)では運動負荷実験において運動を午前中に実施した。しかし、運動を実施する時間帯は人によって様々であり、日常生活で脂質代謝の指標として用いるためには、異なる時間帯でも運動により呼気中アセトン濃度が増加することを示す必要がある。そこで本実験では、時間帯による呼気中アセトン濃度の変動を検証するため、午前運動実験に加えて午後運動実験を実施した。その結果、運動終了後から実験終了時(運動終了240分後)まで午後運動実験の方が呼気中アセトン濃度比が高値となり、その一部には有意傾向を示す差が認められた。これは、午後の方が体内でのアセトン生成促進が増大したことを示唆している。この要因について、本研究で与えた負荷食は、普段の食事と比べて糖質量が午前運動実験よりも午後運動実験の方がより少なかった可能性が高い。そのため午前運動実験よりも午後運動実験の方が、普段の生活と比べ体内でのアセトンの生成促進を促す糖質不足に陥りやすく、その結果呼気中アセトン濃度比がより増大したと考えられる。

##### (3) 運動実施後の食事成分による影響について

日常生活において昼食を摂取せず実験終了の15時45分まで絶食状態を維持することは稀である。そこで本実験では、運動終了60分後にこちらで用意した食事を摂取してもらい、それに伴う呼気中アセトン濃度比の変

動を検討した。その際、食事に含まれる成分によって呼気中アセトンに及ぼす影響に違いがあるか検討するため、糖質、蛋白質、脂質がそれぞれ主要な成分として含まれている食事、それらが総合的に含まれている食事の計4種類を用意し、食事の及ぼす影響に加え、摂取成分の及ぼす影響についても同時に検討した。その結果食事を摂取しない場合(無食条件)と比べて、呼気中アセトン濃度比は大きく変化した(図1)。

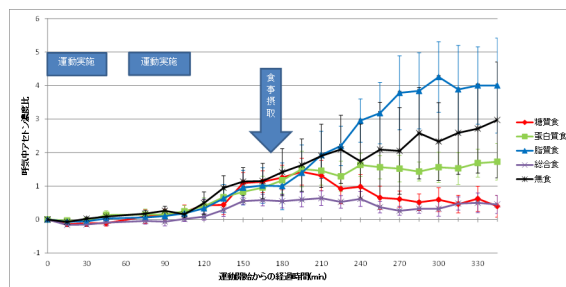


図1 運動後食事摂取成分による呼気中アセトン濃度比変動の比較

特に食事摂取後の変動を比較すると、各食事条件によって顕著な違いが見られた。

まず糖質食条件では食事摂取していない場合と異なり、呼気中アセトン濃度比は食事摂取後に有意に減少した。これは明らかに体内でのアセトン生成が抑制された結果と考えられる。この要因については、糖利用の促進や糖不足の解消が可能性として考えられる。血液成分の変動結果より、糖質食条件の運動終了2時間後(食事摂取1時間後)において、他の食事条件や運動終了直後に比べて、血液中のブドウ糖濃度を示すグルコースや糖利用を促すインスリンが高値を、アセトン生成を示す総ケトン体は低値を示したことも上記の推定を支持している。

総合食条件では食事摂取していない場合と異なり、呼気中アセトン濃度比は食事摂取後に有意増加は認められず、これについても糖質食条件と同様に糖利用の促進や糖不足の解消が要因だと考えられる。ただ総合食条件では、糖質条件に比べると糖質摂取量は少なく、それが食事摂取直前と比較した時に糖質食条件では有意減少した一方で、総合食条件では有意減少まで至らなかった原因であるかもしれない。

蛋白質食条件では食事摂取していない場合と同様に、食事摂取直前と比べて呼気中アセトン濃度比は有意増加している一方、経過時間毎に食事摂取していない場合と比較すると、いくつかの時間帯で有意に低値、または低値傾向を示した。蛋白質食条件の場合、呼気中アセトン濃度は減少するまでには至らなかったものの、摂取していない場合と比べ抑制されたと考えられる。これについては蛋白質の構成成分であるアミノ酸の性質が要因だと考えられる。本実験で与えた蛋白質食は、糖原性アミノ酸の方がケトン性アミノ

酸よりも2倍以上含まれていた。従って蛋白質食内の主要成分である糖原性アミノ酸によって、体内で糖が生成され、糖利用をある程度促進させる一方、脂質利用を抑制させたと考えられる。

最後に脂質食条件では、食事摂取していない場合と同様に食事摂取直前と比べて呼気中アセトン濃度は有意増加していることに加え、経過時間毎に食事摂取していない場合と比較すると、いくつかの時間帯で有意に高値または高値傾向を示した。これは脂質食条件のみが食事摂取により呼気中アセトン濃度の更なる増加を引き起こしたと言える。一方で血液成分変動の結果を見ると、体内での脂肪分解を示す遊離脂肪酸は他の食事条件と同様に運動終了直後から運動終了2時間後(食事摂取1時間後)にかけて減少していることが判明した。従って、脂肪分解が促進されていないにも関わらず、呼気中アセトン濃度が増加している可能性が高い。この要因について、脂質食に含まれる脂肪の種類に着目した。今回脂質食に含まれていた脂質の大部分は中鎖脂肪酸で構成されていた。中鎖脂肪酸はリンパ管から肝臓へと通じる門脈に入り、肝臓で速やかにエネルギー源となって代謝される。つまり中鎖脂肪酸は静脈を通らずに肝臓でのケトン体産生に使われる。従って静脈中の遊離脂肪酸が運動中に比べて減少した状態にもかかわらず、アセトン生成が増加されたと考えられる。またこの結果は、呼気中アセトンを脂質代謝の指標とする上で、摂取する食事成分には十分注意する必要があることを示唆している。

#### (4) 運動種目による影響について

日常生活においては自転車運動よりも歩行運動の方が道具を必要とせず気軽に実施することができる。また様々な運動種目について呼気中アセトン濃度が増加することを示すことで、呼気中アセトンの脂質代謝の指標としての汎用性が高められる。そこで本実験では自転車運動に加え、速歩運動による運動負荷実験を実施し、両実験を比較することで種目による違いを検討した。その結果、呼気中アセトン濃度比は自転車運動と速歩運動いずれも運動開始前と比べて運動中から有意に増加した。

自転車運動と走行運動での糖と脂肪の代謝比較を行った引用文献<sup>5)</sup>では、最大心拍数(HRmax)を基準とした運動強度(%HRmax)においては同運動強度で種目間の脂肪酸化に有意差はなかったと報告している。本実験での種目間の運動強度は心拍数を基準にした心拍予備能で統一しており、本実験の結果と一致している。従って、40%運動強度においては種目間で呼気中アセトンの変動はほとんど差がないことが示唆された。

#### (5) 運動強度による影響

(4)では運動強度を40%に固定し、運動種

目による呼気中アセトンへの影響を検討した。しかし強度に応じて、エネルギー源としての糖や脂肪の利用率やエネルギー消費量は大きく変わる。そのため40%以外の強度では、自転車運動と速歩運動で呼気中アセトンの変動に差が生まれる可能性がある。そこで本実験では、強度を変更した際の種目間の呼気中アセトン濃度の変動について検討した。

その結果、まず30%強度においては、経過時間毎に種目間の呼気中アセトン濃度比を比較したところ、ほとんどの時間帯で自転車運動の方が有意に高値であった(図2)。

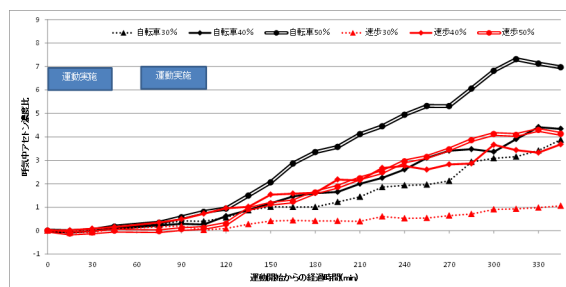


図2 各種目、強度での呼気中アセトン濃度比変動の比較

つまり30%強度では自転車運動の方が、実験を通して呼気中アセトン濃度が有意に高い結果となった。この要因について速歩実験での歩行速度に着目して検討した。本実験における30%強度での平均歩行速度は4.74km/hであり、一般的な歩行速度4.8km/hとあまり変わらないものであったため、運動強度としては十分ではなく、結果として呼気中アセトン濃度がそれほど増加しなかったと考えられる。一方で、自転車運動は歩行運動に比べると非日常的な活動と一般的に考えられ、速歩と同じ運動強度でも十分な運動となり、体内で代謝の促進が起こったと考えられる。

一方50%強度においては、呼気中アセトン濃度比は自転車運動では運動開始45分後から、速歩運動では運動開始120分後(運動終了15分後)から運動開始前と比べて有意に増加した(図2)。

図2を見ると、自転車運動に関して強度にかかわらず呼気中アセトン濃度比が促進されていく様子が認められた。一方で速歩運動の場合、30%強度においては、上昇はしているものの他種目や他強度と比べるとそれほど亢進されていない。従って30%以下の運動強度における歩行運動では、アセトンの生成があまり促進されない可能性が示唆された。

#### <引用文献>

Benoit Capostagno, Andrew Bosch, Higher fat oxidation in running than cycling at the same exercise intensities, International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 20巻, 2010, 44-55

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2件)

峯田大暉、永峰康一郎、石田浩司、片山敬章、近藤孝晴、食事や時間帯が定常負荷運動時の呼気中アセトンや血液成分に与える影響、安定同位体と生体ガス医学応用、査読有、7巻、2015、28-36

峯田大暉、永峰康一郎、石田浩司、片山敬章、近藤孝晴、運動による呼気中アセトン濃度変動と血液成分変動の比較、安定同位体と生体ガス医学応用、査読有、6巻、2014、24-32

[学会発表](計4件)

峯田大暉、永峰康一郎、石田浩司、片山敬章、近藤孝晴、定常負荷運動時の呼気中アセトンと血液成分の変動比較、第7回日本安定同位体・生体ガス医学応用学会大会、名古屋国際会議場、名古屋、2015

Koichiro Nagamine、Daiki Mineta、Koji Ishida、Keisho Katayama、Takaharu Kondo、Effect of food ingestion on breath acetone concentration in exercise experiments、International Association of Breath Research Summit 2015、Schoenbrunn Palace、Vienna、2015

峯田大暉、永峰康一郎、石田浩司、片山敬章、近藤孝晴、運動による呼気中アセトン濃度の変動( )、第6回日本安定同位体・生体ガス医学応用学会大会、東邦大学医療センター大森病院、東京、2014

峯田大暉、永峰康一郎、石田浩司、片山敬章、近藤孝晴、運動による呼気中アセトン濃度の変動( )、第5回日本安定同位体・生体ガス医学応用学会大会、トラストシティカンファレンス、東京、2013

[図書](計1件)

永峰 康一郎 他、シーエムシー出版、非侵襲的検体検査の最前線 - 唾液検査・呼気検査を中心に -、2015、200

6. 研究組織

(1)研究代表者

永峰 康一郎 (NAGAMINE, Koichiro)  
名古屋大学・大学院情報科学研究科・准教授  
研究者番号： 10242843

(2)研究分担者

石田 浩司 (ISHIDA, Koji)  
名古屋大学・総合保健体育科学センター・教授

研究者番号：50193321

片山 敬章 (KATAYAMA, Keisho)  
名古屋大学・総合保健体育科学センター・准教授

研究者番号：40343214

近藤 孝晴 (KONDO, Takaharu)  
中部大学・生命健康科学部・教授  
研究者番号：20135388