

## 中等度運動時の代謝および心拍数に対する 食後経過時間の影響

*Effects of Postprandial Period on Metabolism and Heart Rate during Moderate Exercise*

横川 正美<sup>1)</sup> 野本あすか<sup>2)</sup> 佐々木 誠<sup>3)</sup> 三秋 泰一<sup>1)</sup>  
井上 克己<sup>1)</sup> 洲崎 俊男<sup>1)</sup> 立野 勝彦<sup>1)</sup>

MASAMI YOKOGAWA<sup>1)</sup>, ASUKA NOMOTO<sup>2)</sup>, MAKOTO SASAKI<sup>3)</sup>, HIROICHI MIAKI<sup>1)</sup>,  
KATSUMI INOUE<sup>1)</sup>, TOSHIO SUSAKI<sup>1)</sup>, KATSUHIKO TACHINO<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Division of Rehabilitation Science, Department of Health Sciences, Graduate School of Health Studies, Kanazawa University:  
11-80 Kodatsuno 5, Kanazawa, Ishikawa 920-0942, Japan. TEL +81 76-265-2618 FAX +81 76-234-4372  
E-mail yokogawa@mhs.mp.kanazawa-u.ac.jp

<sup>2)</sup> Department of Medical Rehabilitation Services, Ishikawa-ken Saiseikai Kanazawa Hospital

<sup>3)</sup> Course of Physical Therapy, School of Health Sciences, Akita University

*Rigakuryoho Kagaku 23(3): 431-434, 2008. Submitted Dec. 17, 2007. Accepted Feb. 7, 2008.*

**ABSTRACT:** [Purpose] It is common to avoid exercising for a while after eating, but we sometimes exercise shortly after eating, without taking enough rest in our daily lives, for health maintenance and promotion. [Subjects and Methods] We studied the effects of food intake on metabolism and heart rate during moderate exercise in 12 healthy men. The subjects consumed 571 kcal food, and pedalled bicycles at 60% peak  $\dot{V}O_2$  for 15 minutes under two conditions, 30 minutes and 2 hours after eating. [Results] The oxygen intake, heart rate and oxygen pulse during exercise did not show significant differences between the postprandial conditions. As the energy metabolism estimated by gas exchange ratio, carbohydrate metabolism was predominant in the early exercise condition of 30 minutes after eating, and showed a delay in recovering the stationary motor condition compared to 2 hours after eating. [Conclusion] When we exercise shortly after eating, performing a certain level of warm-up exercise is important so that the metabolic responsiveness of primary exercise can be adjusted.

**Key words:** moderate exercise, postprandial period, physiological response

**要旨:** [目的] 食後しばらくの間は運動を控えるのが一般的であるが、健康維持・増進のため、日常生活において食後十分な休憩をとらずに運動する場合がある。[対象と方法] 健康男性12名を対象に中等度運動時における食後の影響を代謝と心拍数から検討した。対象者は571 kcalの試験食をとり、食後30分と食後2時間の2条件下で60% peak  $\dot{V}O_2$ 強度の自転車漕ぎ運動を15分間行った。[結果] 運動時の酸素摂取量、心拍数、酸素脈は食後条件間で有意な違いは認められなかった。ガス交換比から推定されるエネルギー代謝は、食後30分条件では運動初期に糖質代謝が優位であり、食後2時間条件に比べて運動時定常状態に至るまでに遅れがみられた。[結語] 食後間もない時間帯に運動を行う場合、主運動における代謝応答が調整される程度に十分なウォーミングアップがより重要になると考えられた。

**キーワード:** 中等度運動, 食後経過時間, 生理的応答

<sup>1)</sup> 金沢大学大学院 医学系研究科保健学専攻リハビリテーション科学領域: 石川県金沢市小立野5丁目11-80 (〒920-0942)  
TEL 076-265-2618 FAX 076-234-4372

<sup>2)</sup> 石川県済生会金沢病院 リハビリテーション部

<sup>3)</sup> 秋田大学 医学部保健学科理学療法学専攻

受付日 2007年12月17日 受理日 2008年2月7日

## I. はじめに

食後に運動を行うと、骨格筋への血液供給が優先されて消化器系への血流が減少する、あるいは自律神経系および内分泌系、すなわち生体調節系は食後と運動時では対照的な機能パターンを要求される<sup>1)</sup>などの理由により、食後しばらくの間は運動を控えるのが一般的である。しかし、健康維持・増進のため日常生活の中で運動する時間を確保しようとする場合には、昼休み時間など、食後十分な休憩をとらない時間帯を利用することも考えられる。

食事に伴う代謝と心血管反応に関して、食物摂取はエネルギー代謝を亢進させる作用を有する<sup>2)</sup>。それと同時に、食後は食物の消化吸収のために消化器官への血流が増加し、心拍数、心拍出量の増加と収縮期血圧の上昇が生じる<sup>3-6)</sup>。Yiら<sup>7)</sup>は食後に多段階の運動負荷試験を行い、酸素摂取量や分時換気量、心血管反応は食物摂取による変化に運動の影響が付加されると述べている。これに対し、流動食摂取後の運動負荷試験において、代謝と心拍血圧反応に食物摂取の影響はほとんどみられなかった<sup>8)</sup>。また、ガス交換比に着目すると、比較的低強度の運動では食物摂取後の値は空腹時よりも高値を示すが、高強度の運動では食物摂取の有無による差がなかったことが報告されている<sup>9)</sup>。

以上から、食後の運動における代謝と心血管反応は、食事内容や運動強度に応じて食物摂取の影響があらわれると考えられる。本研究では、運動療法で用いるような中等度の運動を食事30分後と2時間後に行い、代謝と心拍数を比較検討した。

## II. 方法

対象は研究内容について十分な説明をし、参加に同意の得られた健常男性12名であった。対象者の平均年齢は $22.2 \pm 2.1$ 歳、平均身長 $172.3 \pm 6.3$  cm、平均体重 $63.4 \pm 7.4$  kgであった。

対象者の運動強度を決定するため、予備テストとして事前に運動負荷試験を実施した。運動負荷試験は自転車エルゴメータを使用し、30 watts/minのRamp負荷を目標ペダル回転数60 rpmで行った。運動負荷試験の終点は、対象者が疲労困憊に達する、ペダル回転数が50 rpmを下回る、アメリカスポーツ医学会の運動処方指針の中止基準<sup>10)</sup>に該当する、のいずれかとした。

本テストでは、運動前に対象者は試験食を摂取した。食後条件は、食事30分後に運動する「食後30分条件」と

食事2時間後に運動する「食後2時間条件」とした。2条件の測定順序はランダムに行い、7日間から14日間の間隔を空けてそれぞれ、別の日に測定した。対象者は測定前日夜より12時間以上の絶食とし、測定当日は午前中に食事摂取と運動を行った。試験食はセット米飯として市販されているカレーライス（ハウス食品；500 g、571 kcal相当）を使用した。主な栄養成分は糖質114.5 g、タンパク質14.1 g、脂質6.3 gであった。食事の際、水分摂取は200 mlから400 mlの範囲とした。試験食の成分構成比は糖質が80%を占める。糖質のみで成分構成された試験食750 mlを与え、胃内残留量を調べた研究では食後30分の残留量は平均300 ml程度であった<sup>11)</sup>。これを参考に胃内の残留量は少ないが消化吸収過程と考えられる時間帯として食後30分条件を設定した。食後2時間条件は、食物摂取によるエネルギー代謝亢進には個人差があるが食後1時間以内に最高に達する<sup>2)</sup>とされていることから、消化吸収の影響が少なくなっていると考えられる時間帯として決定した。試験食摂取後、測定開始までの時間は補食および運動を避けさせた。

運動は自転車エルゴメータ（ロード、Rehcor500P）上座位で3分間の安静、0wattで3分間のウォーミングアップに続き、予備テストに基づくpeak  $\dot{V}O_2$ の60%の強度で15分間の運動を行い、その後3分間のクールダウン、2分間の自転車上座位で終了とした。運動中は呼吸代謝測定装置（ミナト医科学、AE-280）でbreath-by-breathにて酸素摂取量（ $\dot{V}O_2$ ）、ガス交換比（R）を、医療用テレメータ（フクダ電子、DS-2202）で心拍数（HR）を測定し、酸素脈（ $O_2$  pulse）を算出した。測定した項目は、安静時は測定開始1分の時点から、運動時は運動開始5分、10分、15分の時点からそれぞれ1分間の平均値を算出し、各対象者の測定値とした。

測定値は平均値±標準偏差で示した。測定した各項目は2水準の「食後条件」因子と、安静時（Rest）、運動開始5分（Ex5）、10分（Ex10）、15分（Ex15）の4水準からなる「運動時間」因子による二元配置分散分析を用いて解析した。さらにBonferroniの方法で条件内と条件間で各測定項目の平均値の比較を行った。すべての分析は $p < 0.05$ を有意とした。

## III. 結果

二元配置分散分析の結果、 $\dot{V}O_2$ 、HR、R、 $O_2$  pulseにおいて、有意な交互作用は認められなかった（表1）。すべての測定項目において運動時間経過の有意な主効果が認められた（表1、すべて $p < 0.01$ ）。Rでは食後条件によ

表1 食後条件の違いによる運動時反応パターンの比較と食後条件内および条件間の比較

	Rest	Ex 5	Ex 10	Ex 15	分散分析 (p)		
					食後条件	運動時間	交互作用
$\dot{V}O_2$ (ml/min/kg)					NS	<0.01	NS
食後 30 分条件	4.7 ± 0.6	28.1 ± 4.7	28.9 ± 4.5	29.3 ± 4.5**			
食後 2 時間条件	4.6 ± 0.5	27.6 ± 4.9	28.5 ± 4.4*	28.9 ± 4.5**			
R					<0.05	<0.01	NS
食後 30 分条件	0.923 ± 0.042	1.086 ± 0.052	1.033 ± 0.036**§	1.009 ± 0.026**†			
食後 2 時間条件	0.876 ± 0.050	1.068 ± 0.046	0.993 ± 0.034**	0.984 ± 0.028**			
HR (beat/min)					NS	<0.01	NS
食後 30 分条件	76.5 ± 13.8	140.4 ± 13.9	147.8 ± 14.2**	152.7 ± 13.6**‡			
食後 2 時間条件	73.6 ± 10.9	137.3 ± 11.0	145.3 ± 11.1**	148.8 ± 11.7**‡			
O <sub>2</sub> pulse (ml/beat)					NS	<0.01	NS
食後 30 分条件	4.01 ± 0.78	12.71 ± 2.42	12.42 ± 2.07	12.18 ± 2.00			
食後 2 時間条件	4.07 ± 0.79	12.73 ± 2.43	12.44 ± 2.15	12.32 ± 2.14			

平均値±標準偏差.  $\dot{V}O_2$ : 酸素摂取量, R: ガス交換比, HR: 心拍数, O<sub>2</sub> pulse: 酸素脈.

Rest: 安静時, Ex 5: 運動開始 5 分, Ex10: 運動開始 10 分, Ex 15: 運動開始 15 分.

NS: not significant.

条件内における Ex 5 との有意差: \* p<0.05, \*\* p<0.01. 条件内における Ex 10 との有意差: † p<0.05, ‡ p<0.01.

条件間における有意差: §p<0.05.

る主効果の有意差も認められた (表1, p<0.05)。

条件内の比較では食後30分, 2時間の両条件において, すべての測定項目の値は安静時と比べて運動中の値は有意に増加していた (すべてp<0.01, 表1には表示せず)。R値は食後30分条件ではEx5が最も高く, Ex10, Ex15と運動の時間経過に従い有意に低下した (表1)。食後2時間条件のR値ではEx5が最も高く, Ex10, Ex15ではEx5よりも有意に低値を示した (表1, いずれもp<0.01) が, Ex10とEx15の間には有意差はなかった。食後条件間の比較では, Ex10のR値のみ食後30分条件のほうが食後2時間条件よりも有意に高値であった (表1, p<0.05)。

#### IV. 考 察

二元配置分散分析の結果ではR値にのみ食後条件間で有意な主効果が認められ, 表1より食後30分条件が高値であった。Rは運動中の使用エネルギー基質を反映し, 脂質代謝が100%の時の0.71から糖質代謝が100%の時の1.00の値を示し, 酸素負債によって修飾され, 運動強度や時間によって1.00を超過する場合がある。食後30分条件のR値から推定されるエネルギー代謝は, 食後2時間条件に比べて糖質代謝優位であったと言える。Bergmanら<sup>9)</sup>は, 日常的な運動習慣のない群で中等度の運動強度において空腹状態で運動した時のR値は食物摂取後に運

動した時のR値に比べて有意に低値を示したと述べている。また, 田中<sup>12)</sup>は食事の有無と歩行運動に関して, 12から14時間絶食の後, 朝食抜きで歩行運動すると血漿遊離脂肪酸の顕著な上昇が認められるのに対し, 糖質中心の朝食を摂取後, さらに30分おきに25gのショ糖を静脈内投与して (歩行) 運動をしたときには血漿の遊離脂肪酸はほとんど変化がなく, Rから推定されるエネルギー供給源は朝食抜きではほとんどが脂肪の燃焼でまかなわれており, 朝食摂取では逆にほとんど糖の燃焼でエネルギーがまかなわれているとしている。本研究では空腹条件は設定しておらず, 運動時間もBergmanら<sup>9)</sup>や田中<sup>12)</sup>の検討より短い時間の運動であったが, 本研究の結果はこれら2つの報告と矛盾しないと考える。食後の2条件間において示されたR値の有意な主効果について, 考えられる要因の一つに運動強度がある。先のBergmanらの研究<sup>9)</sup>では, 75% peak  $\dot{V}O_2$ の比較的強い運動強度になると, 食事の有無によってR値の有意な違いは認められなくなったと報告している。運動強度が強くなるとエネルギー代謝は糖の燃焼のほうにシフトする<sup>13)</sup>。この時の運動によるエネルギー代謝の変化に対して, 食事の影響は相対的に小さくなり, 食事の有無によるR値の変化が示されなくなったと推察される。本研究で施行したような中等度運動においては, R値には食後の影響が比較的鋭敏にあらわれていると考えられた。

食後の条件内および条件間の比較結果で、測定項目のうち反応に違いが認められたのはR値のみであった。表1より、食後2時間条件ではEx10までに定常状態に至っているのに対し、食後30分条件では運動初期に糖質代謝が優位となり、食後2時間条件に比べて運動時定常状態に至るまでに遅れが生じていることが示唆された。食後は膵臓からのインスリン分泌が増大して吸収された糖をグリコーゲンに合成し、エネルギー源として貯蔵する時間帯であり、一方運動時にはグリコーゲンは分解され、ブドウ糖になり消費されるように両者は対照的な機能パターンである<sup>1)</sup>。75 g経口ブドウ糖負荷試験の血糖曲線およびインスリン反応は負荷後30分値がピークである<sup>14)</sup>。これと照らし合わせると、食後30分条件は血糖曲線やインスリン反応がピーク、もしくは上昇途中の時間帯である。このような時間帯の運動時の内分泌系は対照的な機能パターンを同時に要求され、内分泌系の生体調節系は混乱し、からだの調子が乱れる<sup>1)</sup>。この負担を軽減するためには、低強度の運動から徐々に目標とした運動強度へと進めていく、あるいはウォーミングアップに十分な時間をとることが重要であると考えられる。

HRおよび一回拍出量や心拍出量を反映するO<sub>2</sub> pulseは、食後の条件間に有意な違いは認められなかった。食事による血行動態への影響は食事量と関係があり<sup>3)</sup>、食事量が多いほど心係数、一回拍出量、心拍数、心筋酸素消費が大きくなる<sup>3)</sup>と言われている。健常者を対象とした研究<sup>5-7)</sup>で、摂取カロリーが800 kcalから1,400 kcalであったのに比べ、本研究の摂取カロリーは571 kcalであり、HRやO<sub>2</sub> pulseが増加するほどの食事量に達していなかったのかもしれない。このほか、炭水化物で構成される食事は同じカロリーのタンパク質食よりも心拍数、血圧、心拍出量の増加が小さいことが報告されている<sup>3)</sup>。本研究で用いた試験食は炭水化物の構成比が大きく、食物の成分構成比が結果に影響している可能性もある。運動と食事との関係について内臓への血液循環の観点を含めた検証では、少なくとも食事直後に中等度以下の運動を絶対的に控えなければならない科学的根拠は必ずしも明確ではない。運動強度と時間、運動様式が重要な因子であり、さらなる検討が期待されている<sup>15)</sup>。血流と関連するHRやO<sub>2</sub> pulseの値は、本研究で設定した食事内容と運動強度では食後の2条件間に有意な違いは生じず、生体でのホメオスタシスが作用する範囲内の反応であったと考えられた。

以上より、R値から推定されるエネルギー代謝は、食

後30分条件では運動初期に糖質代謝優位の影響により、食後2時間条件に比べて運動時定常状態に至るまでに遅れが生じていることが示唆された。食後間もない時間帯に運動を行う場合、主運動における代謝応答が調整される程度に十分なウォーミングアップがより重要となると考えられた。

## 引用文献

- 1) 池上晴夫：運動処方の実際。大修館書店、東京、1993、pp183-184.
- 2) McArdle WD, Katch FI, Katch VL: Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance. 6th ed. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2006, pp200-201.
- 3) Rokowski RJ, Spodick DH: Prandial effects on cardiac function and responses. Am Heart J, 1989, **118**: 1078-1082.
- 4) Cornyn JW, Massie BM, Unverferth DV, et al.: Hemodynamic changes after meals and placebo treatment in chronic congestive heart failure. Am J Cardiol, 1986, **57**: 238-241.
- 5) Kelbæk H, Gjørup T, Christensen NJ, et al.: Central hemodynamic changes after ingestion of a meal in patients with coronary artery disease. Arch Intern Med, 1989, **149**: 363-365.
- 6) Fagan TC, Sawyer PR, Gourley LA, et al.: Postprandial alterations in hemodynamics and blood pressure in normal subjects. Am J Cardiol, 1986, **58**: 636-641.
- 7) Yi JJ, Fullwood L, Stainer K, et al.: Effects of food on the central and peripheral haemodynamic response to upright exercise in normal volunteers. Br Heart J, 1990, **63**: 22-25.
- 8) Yokogawa M, Ueda K, Murase J, et al.: Effects of food intake on physiological responses to cardiopulmonary exercise testing. J Phys Ther Sci, 2007, **19**: 145-150.
- 9) Bergman BC, Brooks GA: Respiratory gas-exchange ratios during graded exercise in fed and fasted trained and untrained men. J Appl Physiol, 1999, **86**: 479-487.
- 10) American College of Sports Medicine: ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 7th ed. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2005, p78.
- 11) 武藤泰敏 (編)：消化・吸収—基礎と臨床—, 改訂新版. 第一出版, 東京, 2002, pp54-55.
- 12) 田中宏暁：運動はいつ行くと効果的か。プラクティス, 2006, **23**: 388-390.
- 13) エドワード・フォックス (著), 朝比奈一男 (監訳)：選手とコーチのためのスポーツ生理学, 15版. 大修館書店, 東京, 1998, pp42-43.
- 14) 羽倉稜子：糖尿病の疫学・病態・診断学の進歩, インスリン分泌の評価法, グルコース負荷試験. 日本臨床, 2002, **60** (増刊8) : 301-307.
- 15) 矢野博己, 矢野里佐：食事直後に運動を控えるべきか—腹部内臓への血液循環. 体育の科学, 1996, **46**: 812-817.