

平成16年度

唐辛子，高濃度酸素および有酸素運動の併用がエネルギー消費量および脂質代謝に及ぼす影響

村 松 茂

(横浜市立大学研究院)

1. 緒 言

ウォーキングやジョギングなどの有酸素運動が，脂質の利用率とエネルギー代謝を促進させ，生活習慣病の温床ともいわれている肥満の改善に有効であることは古くから広く知られている¹⁷⁾。また，比較的最近の研究によって，唐辛子の辛味の成分であるカプサイシンにも，脂肪分解作用およびエネルギー代謝を促進させる働きがあり，ダイエット効果のあることが明らかとなっている²⁷⁾。さらに，近年，疲労回復効果があるとして話題となっている高濃度酸素¹²⁾についても，運動中の吸引によって脂質代謝を高めるとする報告がみられる²³⁾。しかし，この3者を併用した際の脂質代謝やエネルギー消費量に及ぼす影響については検討がなされておらず不明である。もし，相乗効果が認められるとすれば肥満改善のための有益な知見を得ることができると考えられる²⁵⁾。

そこで本研究では，有酸素運動に唐辛子および高濃度酸素を併用した際のエネルギー消費量および脂質代謝に及ぼす影響について検討することを目的とした。

2. 実験方法

2.1 被験者

本研究の被験者は，健康な男子（年齢 20.5 ± 1.1 歳，身長 168.3 ± 4.2 cm，体重 61.9 ± 6.6 kg，最大酸素摂取量 51.3 ± 7.8 ml \cdot min⁻¹ \cdot kg⁻¹）および女子大学生（年齢 20.1 ± 1.0 歳，身長 158.9 ± 5.5 cm，体重 50.9

± 6.3 kg，最大酸素摂取量 46 ± 9.5 ml \cdot min⁻¹ \cdot kg⁻¹）20名であった。実験に先立ち，すべての被験者に本研究の目的，方法およびその危険性の有無を説明し，実験参加の同意を得た。

2.2 測定の条件

運動強度および運動時間は，あらかじめ自転車エルゴメータによる負荷漸増法により求めた最大酸素摂取量の40%（40% $\dot{V}O_2$ max）および60分間であった。運動は唐辛子（一味唐がらし，ハウス食品社製）なしの普通食（炭水化物119.7g：76%，蛋白質28.8g：18%，脂質8.8g：6%，エネルギー量673kcal），それに体重1kg当たり0.1gの唐辛子を加えた唐辛子添加食の2条件で，それぞれ食後150分経過してから行なった（実験に際しては食事前12時間の食事制限を行なった）。高濃度酸素（酸素濃度30%）は，運動開始20分後から20分間，あらかじめ高濃度酸素を充填したダグラスバッグより吸気を導入し，吸引させた。また，同様な手順で，運動なしの安静状態についても行なった。なお，全ての測定は恒温恒湿（温度20℃，湿度50%）に保たれた人工気候室内で実施した。また，各被験者の測定日の間隔は1週間以上とした。

2.3 測定の内容

運動および安静の計4条件について，それぞれ酸素摂取量および心拍数を60分間連続的に，また鼓膜温，皮膚温（額，首，腹，手背および大腿部）および血中乳酸値を，測定前および開始10分経過ごとに求めた。酸素摂取量および心拍数の測定には，自動呼気ガス分析器（AE300S，ミナト医化

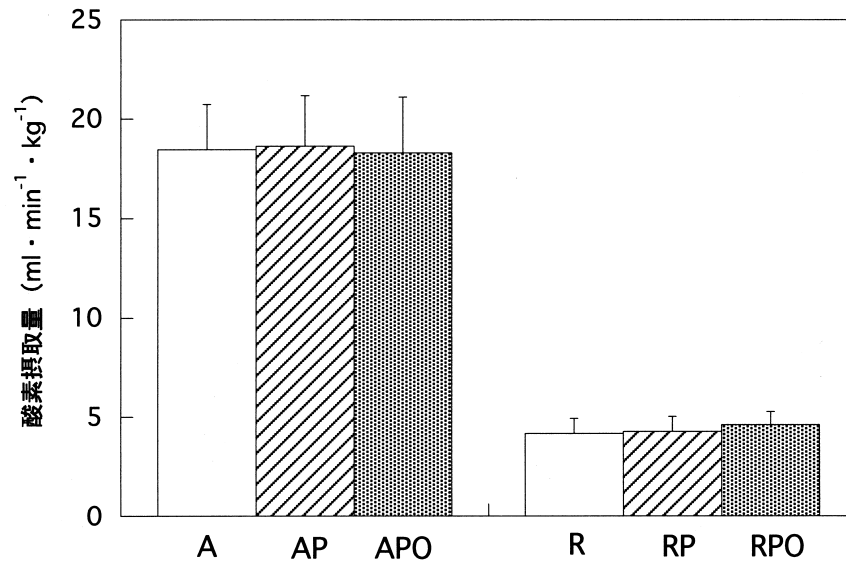


図1 有酸素運動 (A), 有酸素運動と唐辛子の併用 (AP), 有酸素運動, 唐辛子および高濃度酸素の併用 (APO), および運動なしの安静状態 (R), 安静状態での唐辛子 (RP), 安静状態での唐辛子と高濃度酸素の併用 (RPO) 時の酸素摂取量の比較。

学社製) および心電図テレメータ (Cardio Super 2E32A, San-ei社製) を用いた。また, 鼓膜温は耳式体温計 (MC-581, オムロンヘルスケア社製) によった。皮膚温は赤外線サーモグラフィ (サーモトレーサTH6200, NEC三栄社製) により測定した。血中乳酸値は, 指先よりキャピラリーチューブを用いて採血し, 乳酸分析装置 (5030L, BIOSEN社製) により分析した。

2.4 統計処理

統計量はすべて平均値と標準偏差で示した。有酸素運動, 唐辛子および高濃度酸素の3者の組み合わせ条件間の比較には一元配置分散分析法および多重比較検定を用いた。有意水準は5%未満とした。なお, 高濃度酸素併用時の値は, 高濃度酸素を吸引した運動開始20分後から40分後までの20分間の平均値, それ以外の値はその後の運動終了までの20分間の平均値とした。なお, 予備実験において, この間における呼吸循環応答の定常状態を確認した。

3. 結果

図1は酸素摂取量の結果を示したものである。有酸素運動のみ (A), 有酸素運動と唐辛子の併用

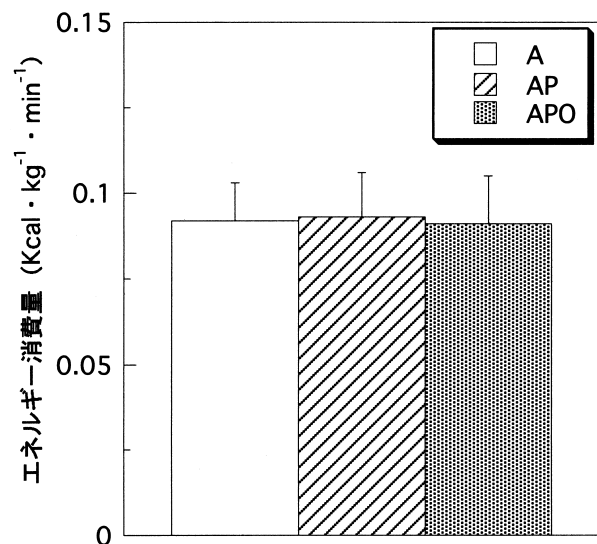


図2 有酸素運動 (A), 有酸素運動と唐辛子の併用 (AP), 有酸素運動, 唐辛子および高濃度酸素の併用 (APO) 時のエネルギー消費量の比較。

(AP), 有酸素運動, 唐辛子および高濃度酸素の併用 (APO) の3条件におけるそれぞれの値は, 18.5 ± 2.3 (A), 18.6 ± 2.5 (AP) および $18.3 \pm 2.8 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ (APO) であり, その差はわずかで, 3条件間に有意な違いはみられなかった。安静状態の値も, 唐辛子と高濃度酸素の併用 ($4.6 \pm 0.7 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) が最も高かったが, 他の条件との間に統計的に有意な差は認められなかった。図2にはエネルギー消費量を示したが, 有酸

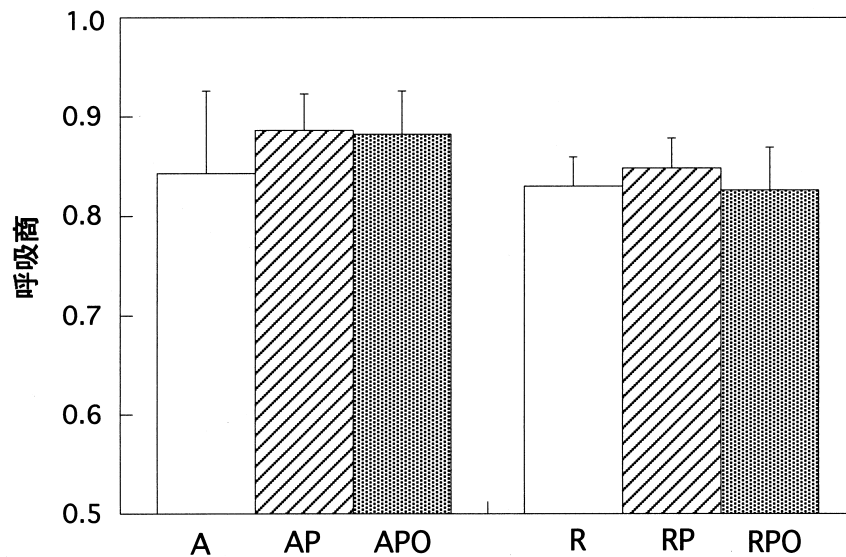


図3 有酸素運動 (A), 有酸素運動と唐辛子の併用 (AP), 有酸素運動, 唐辛子および高濃度酸素の併用 (APO), および運動なしの安静状態 (R), 安静状態での唐辛子 (RP), 安静状態での唐辛子と高濃度酸素の併用 (RPO) 時の呼吸商の比較。

素運動のみ (A), 有酸素運動と唐辛子の併用 (AP), 有酸素運動, 唐辛子および高濃度酸素の併用 (APO) の3条件におけるそれぞれの値は, 0.092 ± 0.011 , 0.093 ± 0.013 および $0.091 \pm 0.014 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ で, その差はわずかであり, 有意な違いはみられなかった。

図3は呼吸商(RQ)の結果を示したものである。A, APおよびAPOのそれぞれの条件における値は, 0.84 ± 0.08 , 0.89 ± 0.04 および 0.88 ± 0.04 であり, 有酸素運動のみよりも, それに唐辛子を併用した時の方が高い値を示した。しかし, 3条件間の差は統計的に有意なものではなかった。また, 安静状態における値にも有意な違いはみられなかった。

図4はA, APおよびAPOの3条件における血中乳酸値を示したものである。それぞれの条件における値は, 1.78 ± 0.26 (A), 1.93 ± 0.51 (AP) および $2.14 \pm 0.55 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ (APO) であり, 有酸素運動のみよりも, それに唐辛子, さらに高濃度酸素を併用した時の方がより高い値を示した。しかし, この差は統計的に有意なものではなかった。また, 安静状態における値にも有意な違いはみられなかった。

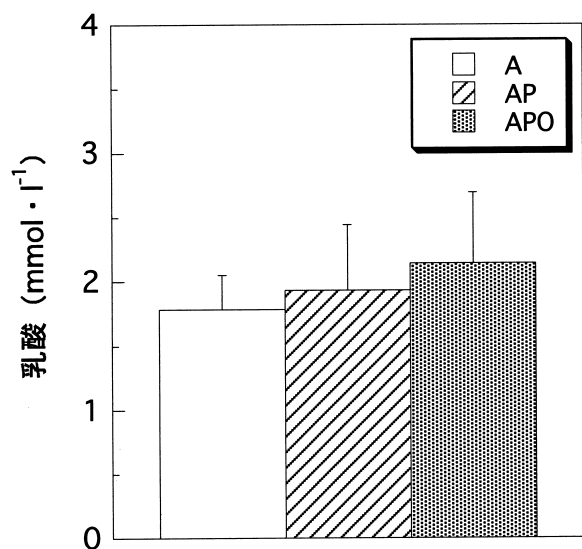


図4 有酸素運動 (A), 有酸素運動と唐辛子の併用 (AP), 有酸素運動, 唐辛子および高濃度酸素の併用 (APO) 時の乳酸値の比較。

図5はA, APおよびAPOの3条件における心拍数を示したものである。それぞれの条件における値は, 122.2 ± 15.9 (A), 124.6 ± 20.3 (AP) および $119 \pm 17.7 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ (APO) と差は小さく, 3条件間に有意な違いはみられなかった。安静状態における値は, 普通食 ($67.9 \pm 5.7 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$) よりも唐辛子 ($73.0 \pm 7.0 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$) および唐辛子と高濃度酸素の併用 ($71.2 \pm 7.5 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$) で最も高かったが 統計的に有意な差ではなかった。

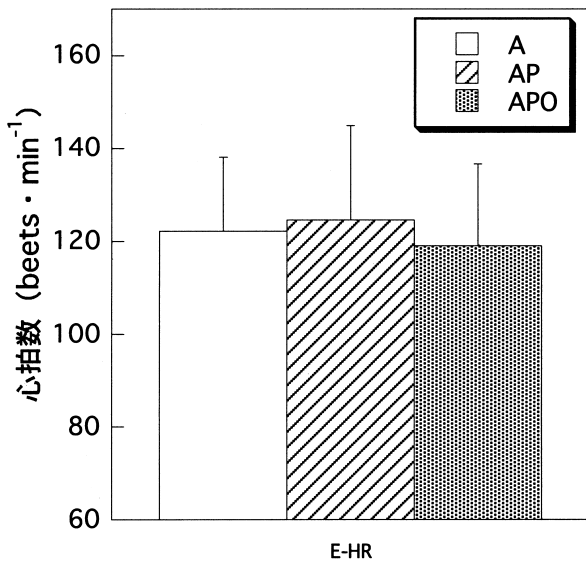


図5 有酸素運動 (A), 有酸素運動と唐辛子の併用 (AP), 有酸素運動, 唐辛子および高濃度酸素の併用 (APO) 時の心拍数の比較。

図6はA, APおよびAPOの3条件における鼓膜および皮膚温を示したものである。鼓膜温は3条件間でほぼ等しく差はみられなかった。皮膚温は, 額および首部ではAPO条件の値が最も低かった。また, 腹部においては, 逆に最も高かったが, いずれの部位においても3条件間の差は統計的に有意なものではなかった。また, 安静状態においても, 3条件間の違いに統計的に有意な差はみられなかった。しかし, 部位間の比較ではA条件では額と腹部 ($p < 0.001$), 額と大腿部 ($p < 0.01$),

首と腹部 ($p < 0.05$), 手と腹部 ($p < 0.001$) および, 手と大腿部 ($p < 0.05$) の間に有意な差が認められたが, APおよびAPO条件ではいずれの比較においても統計的に有意な違いはみられなかった。

4. 考 察

ウォーキングやジョギングなどの有酸素運動が, エネルギー代謝と脂質の利用率を高めるという事実は多くの研究により確認されている^{2, 3, 17, 18, 19})。唐辛子の辛味成分であるカプサイシンについても, Kawadaら⁸) およびKobayashiら¹⁰) はラットで, Yoshiokaら²⁷) はヒトでエネルギー消費量の増加を認めている。また, Yoshiokaら²⁷) およびKawadaら⁷) は脂肪代謝の亢進を認めている。さらに, OhとOhta^{13, 14}), およびKimら⁹) は, ラットの実験からカプサイシンが持続的運動時の糖代謝を抑え, 脂質代謝を促進させる効果のあることを示唆している。また, 運動時の高濃度酸素吸引も, Hughesら⁵) やWelchら²¹), あるいはWilsonら²³) が, 脂質代謝を高めることを示唆している。これらのことから本研究は, 有酸素運動に唐辛子および高濃度酸素を併用した際の相乗効果について検討したが, その効果は認められず, また唐辛

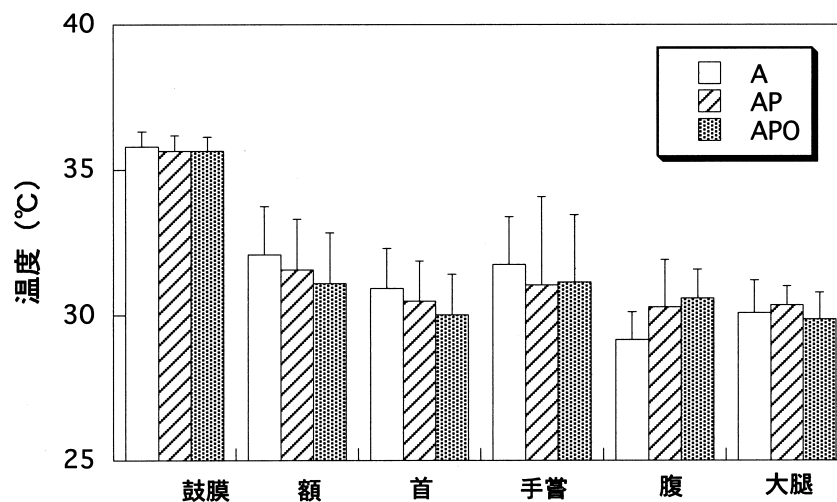


図6 有酸素運動 (A), 有酸素運動と唐辛子の併用 (AP), 有酸素運動, 唐辛子および高濃度酸素の併用 (APO) 時の鼓膜および皮膚温の比較。

子あるいは高濃度酸素のみにおいても運動中の脂質代謝やエネルギー消費量を高める効果はみられなかった。

唐辛子摂取と運動については，Limら¹¹⁾が運動時のエネルギー消費量，呼吸商および乳酸などに及ぼす影響を検討しており，エネルギー消費量は本研究と同様に差がみられなかった報告している。運動強度（60% $\dot{V}O_2\max$ ）以外は本研究とほぼ同じであった。しかし，呼吸商および乳酸値は唐辛子添加食で有意に高く，本研究と異なる結果を得ている。そして，唐辛子が脂質代謝ではなく，糖代謝を高めるとしている。また，Yoshiokaら²⁶⁾も，エネルギー消費量の増加はみられず，糖代謝が亢進したと報告している。

唐辛子に含まれるカプサイシンが，脂質代謝およびエネルギー消費量を高める作用機序，すなわちカプサイシンの交感神経刺激により副腎髄質から分泌されるアドレナリンが脂肪分解および代謝を亢進させる，という機序は動物実験によって確認されている^{8, 20)}。しかし，本研究では安静状態においても唐辛子の作用は認められなかった。この原因としては，主に食事内容，および唐辛子の摂取量の違いが考えられる。

すなわち，本研究では炭水化物食（パスタ）を実験食として用いたが，高脂質食でよりその影響が大きいとする報告²⁷⁾があることから，この違いの影響が考えられる。また，先に示した先行研究¹¹⁾では10 gの唐辛子を食事に添加しているが，本研究では体重1 kg当たり0.1 g，全被験者を平均すると6 g程度であり，この量の違いが結果に影響したことも考えられる。しかし，本研究においても多くの被験者にとって唐辛子添加食の摂取はその量から苦痛を伴うものであった。動物実験で投与されているカプサイシンの量は，唐辛子にするとヒトが食事で摂取する量としては非現実的と思われることから，ヒトにおける唐辛子の量と

その影響については今後さらに検討すべき課題である¹⁵⁾。この他，運動との関係ではその強度がエネルギー源となる基質の割合に影響することから，運動強度の違いも結果に影響しているのかも知れない。

ところで，唐辛子の影響は体温や皮膚温の上昇として現れる¹⁵⁾。本研究では鼓膜温あるいは皮膚温においても有酸素運動との併用による違いは認められなかった。しかし，身体部位間の皮膚温の違いをみると，有酸素運動のみの場合に複数の部位間で有意な差が認められたが，唐辛子を摂取した場合には何ら有意な差をみられなかった。このことからすると唐辛子の摂取が，運動時の皮膚温分布に何らかの影響を与えるのかも知れない。

高濃度酸素と運動については，Wilsonら²³⁾が本研究に近い実験条件において酸素摂取量の有意な増加と呼吸商の低下を認めている。また，他の先行研究においも高濃度酸素吸引による呼吸交換比の低下と血中乳酸値の低下が認められている^{1, 4, 16, 22)}。これらの変化は高濃度酸素吸引による酸素分圧の上昇にともなう糖代謝の抑制と脂質代謝の促進によると考えられている²³⁾。しかし，本研究では酸素摂取量，呼吸商および血中乳酸値に有意な変化はみられなかった。この原因としては，本研究で用いた酸素濃度（30%）が他の報告（40から100%）よりも低かったことが考えられるが，高濃度酸素を吸引しても酸素摂取量の増加はみられないとする報告¹⁾や乳酸産生に影響しないとする報告²⁴⁾などもあり，運動時の高濃度酸素の作用機序については必ずしも定かではないのが現状である。

以上のように本研究の結果からは，有酸素運動，唐辛子および高濃度酸素の併用による脂質代謝やエネルギー消費量を互いに高める相乗効果は認められなかった。しかし，唐辛子については脂肪燃焼機序が解明されていることから，ヒトにお

ける摂取方法や運動の条件を系統的に検討することによって、相乗効果を生み出す条件が見つかるかも知れない。また高濃度酸素についても、今回用いたような比較的low濃度でも高気圧条件下⁶⁾では運動後の乳酸除去を速めるなど有益な効果が認められていることから、別な目的で唐辛子などの相乗効果について検討を加える余地はある。これらのことは今後の検討課題である。

5. 要 約

本研究の目的は、唐辛子、高濃度酸素および有酸素運動の併用がエネルギー消費量および脂質代謝に及ぼす影響について検討することであった。被験者は、健康な大学生20名であった。運動強度および運動時間は、40% $\dot{V}O_{2max}$ および60分間であった。唐辛子は、普通食(673kcal)に体重当り1kg当たり0.1g加えた。高濃度酸素は酸素濃度30%を吸引させた。エネルギー消費量は酸素摂取量から、また脂質代謝への影響は呼吸商を指標としたが、本研究の条件では有酸素運動、唐辛子および高濃度酸素を併用してもエネルギー消費量あるいは脂質代謝を高める相乗効果はみられないことが明らかとなった。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、貴重な研究助成を賜りました浦上食品・食文化振興財団およびその関係者の皆様に心より感謝いたします。貴財団の益々のご発展をお祈り申し上げます。

文 献

- 1) Adams, R.P., Cashman, P.A. and Young, J.C.: Effect of hyperoxia on substrate utilization during intense sub-maximal exercise. *J. Appl. Physiol.* 61:523-529, 1986.
- 2) Hansen, K., Shriver, T. and Schoeller, D: The effects of exercise on the storage and oxidation of dietary. *Sports Med.* 35:363-373, 2005.

- 3) Horowitz, J.F.: Regulation of lipid mobilization and oxidation during exercise in obesity. *Exerc. Sport Sci.Rev.* 29:42-46, 2001.
- 4) Howley, E.T., Cox, R.H., Welch, H.G. and Adams, R.P.: Effect of hyperoxia on metabolic and catecholamine responses to prolonged exercise. *J. Appl. Physiol.* 54:59-63, 1983.
- 5) Hughes, R.L., Clode, M., Edwards, R.H. T., Goodwin, T.J. and Jones, N.L.: Effect of inspired O_2 on cardiopulmonary and metabolic responses to exercise in man. *J. Appl. Physiol.* 24: 336-347, 1968.
- 6) 石井良昌, 宮永 豊, 下条仁士, 浅野勝己: 高気圧酸素療法の最大運動後の乳酸濃度に及ぼす影響. *日高圧医誌*. 30: 109-114, 1995.
- 7) Kawada, T., Hagihara, K. and Iwai, K.: Effects of capsaicin on lipid metabolism in rat fed a high fat diet. *J.Nutr.* 116:1272-1278, 1986.
- 8) Kawada, T., Watanabe, T., Takahashi, T., Tanaka, T. and Iwai, K.: Capsaicin-induced beta-sdrenergic action on energy metabolism in rats: influence of capsaicin on oxygen consumption, the respiratory quotient, and substrates utilization. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 183:250-256, 1986.
- 9) Kim, K. M., Kawada, T., Ishihara, T., Inoue, K. and Fushiki, T.: Increase in swimming endurance capacity of mice by capsaicin-induced adrenal catecholamine secretion. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 61:1718-1723, 1997.
- 10) Kobayashi, A., Osaka, T., Namba, Y., Inoue, S., Lee, S.I. and Kimura, S.: Capsaicin activates heat loss and heat production simultaneously and independently in rats. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 275:92-98, 1998.
- 11) Lim, K., Yoshioka, M., Kikuzato, S., Kiyonaga, A., Tanaka, H., Shindo, M. and Suzuki, M.: Dietary red pepper ingestion increases carbohydrate oxidation at rest and during exercise in runners. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 29:355-361, 1997.
- 12) 村松 茂, 有本守男, 木島 晃: 換気量, 心拍数および血中乳酸値からみた高濃度酸素発生器の疲労回復効果. *日本生理人類学会誌* 9: 21-24, 2004.
- 13) Oh, T.W. and Ohta, F.: Capsaicin increases endurance capacity and spares tissue glycogen through lipolytic function in swimming rats. *J. Nutr. Vitaminol.* 49:107-111, 2003.
- 14) Oh, T.W. and Ohta, F.: Dose-dependent effect of capsaicin on endurance capacity in rats. *Br. J. Nutr.* 90:515-520, 2003.

- 15) Ohnuki, K., Niwa, S., Maeda, S., Inoue, N., Yazawa, S. and Fushiki, T.: CH-19 sweet, a non-pungent cultivar of red pepper, increased body temperature and oxygen consumption in humans. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 2033-2036, 2001.
- 16) Pedersen, P.K., Kiens, B. and Saltin, B.: Local circulatory and metabolic responses to hyperoxia during steady-state, one-leg exercise. *Clin. Physiol.* 5 (Suppl. 4)136, 1985.
- 17) 佐藤祐造：糖尿病・肥満と運動．*体育科学* 14：211-228，1986．
- 18) Van Aggel-Leijssen, D.P., Saris, W.H., Wagenmakers, A.J., Hul, G.B. and Van Baak, M.A.: The effect of low-intensity exercise training on fat metabolism of obese women. *Obes. Res.* 9:86-96, 2001.
- 19) Van Aggel-Leijssen, D.P.C., Saris, W.H.M., Wagenmakers, A.J.M., Senden, J.M. and Van Baak, M.A.: Effect of exercise training at different intensities on fat metabolism of obese man. *J. Appl. Physiol.* 92:1300-1309, 2002.
- 20) Watanabe, T., Kawada, T., Kurosawa, M. and Iwai, K.: Adrenal sympathetic efferent nerve and catecholamine secretion excitation caused by capsaicin in rats. *Am. J. Physiol.* 255:E23-27, 1988.
- 21) Welch, H.G., Mullin, J.P., Wilson, G.D. and Lewis, J.: Effects of breathing O₂-enriched gas mixtures on metabolic rate during exercise. *Med. Sci. Sports* 6:26-32, 1974.
- 22) Wilson, B.A. and Stainsby, W.N.: Effects of O₂ breathing on RQ, blood flow, and developed tension in in situ dog muscle. *Med. Sci. Sports* 10:167-170, 1978.
- 23) Wilson, B.A., Welch, H.G. and Liles, J.N.: Effects of hyperoxic gas mixtures on energy metabolism during prolonged work. *J. Appl. Physiol.* 39:267-271, 1975.
- 24) Wolfe, R.R., Graham, T.E. and Barclay, J.K.: Hyperoxia, mitochondrial redox state, and lactate metabolism of in situ canine muscle. *Am. J. Physiol.* 253: C263-268, 1987.
- 25) Yoshioka, M., Doucet, E., Drapeau, V., Dionne, I. and Tremblay, A.: Combined effects of red pepper and caffeine consumption on 24h energy balance in subjects given free access to foods. *Br. J. Nutr.* 85:203-211, 2001.
- 26) Yoshioka, M., Lim, K., Kikuzato, S., Kiyonaga, A., Tanaka, H. and Shinoda, M.: Effects of red-pepper diet on the energy metabolism in men. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 41:647-656, 1995.
- 27) Yoshioka, M., St-Pierre, S., Suzuki, M. and Tremblay, A.: Effects of red pepper added to high-fat and high-carbohydrate meal on energy metabolism and substrate utilization in Japanese women. *Br. J. Nutr.* 80:503-510, 1998.

Effects of taking in red pepper and subsequently doing aerobic exercise and hyperoxic gas inhalation on the energy expenditure and the lipid metabolism

Shigeru Muramatsu

(Faculty Research Program, Yokohama City University)

The purpose of this study was to examine the effects of taking in red pepper and subsequently conducting an aerobic exercise and inhaling hyperoxic gas on the energy expenditure and the lipid metabolism. Twenty healthy university students (ten males and ten females) volunteered in this study and performed 60-minute exercise at 40% of maximal oxygen uptake starting 150 minutes after having a meal (673kcal) Four experimental days were set, and each subject did the exercise each day with different procedures: having the meal with or without red pepper prior to the exercise with or without inhaling hyperoxic gas. The amount of red pepper the subject took in was 0.1g per kg of the body weight, and the concentrated air (30% O₂) was inhaled for 20 minutes. Oxygen consumption, respiratory quotient, heart rate, temperature of tympanic membrane, body surface temperature (forehead, neck, abdomen, palm of hand, thigh) and blood lactate were measured in this study. Energy expenditure was calculated using the values of oxygen uptake. The effect on the lipid metabolism was examined analyzing the alterations in the respiratory quotient. As the result, no statistically significant difference in both the oxygen uptake and the respiratory quotient was found among three conditions: the aerobic exercise alone, the aerobic exercise and the red pepper, and the aerobic exercise, the red pepper, and the hyperoxic gas. And also, there is no significant difference in the other measurements. It is therefore concluded that there are no combined effects of the aerobic exercise, intake of the amount of red pepper, and the hyperoxic gas inhalation on increasing the energy expenditure and promoting the lipid metabolism.