■研究論文

肥満患者における運動および全身温熱（サウナ） 負荷テストの生理学的影響について

Physiological Influences on Exercise and Whole Thermotolerance (Sauna) Stress with Obese Patients

加藤 順一¹⁾ 来栖 昌朗¹⁾ 宮地 条治¹⁾ 逢坂 悟郎²⁾
原 泰久¹⁾ 谷口 洋³⁾

JUNICHI KATOH, MD¹⁾, MASAROU KURUSU, MD¹⁾, JYUJI MIYAJI, MD¹⁾, GOROU OHSAKA, MD²⁾,
YASUHISA HARA, MD¹⁾, HIROSHI TANIGUCHI, MD³⁾

¹⁾Department of Internal Medicine, Hyogo Rehabilitation Center Hospital, 1070 Akebono-cho, Nishi-ku, Kobe City 651-21, Japan.
TEL + 81 78-927-2727

²⁾Department of Rehabilitation Medicine

³⁾Faculty of Health Science, Kobe University School of Medicine

Rigakuryoho Kagaku 11 (2): 71-74, 1996. Submitted Feb. 10, 1996. Accepted Apr. 20, 1996.

ABSTRACT: To investigate the physiological influences on exercise and whole thermotolerance (sauna) stress with nineteen obese patients, aged 25 to 61 years (Body Mass Index; $29.6 \pm 4.9 \text{ kg/m}^2$), we have examined gas analysis using foot ergometer and sauna stress, monitoring oxygen uptake ($\dot{V}O_2$), carbon dioxide output ($\dot{V}CO_2$) and heart rate (HR). We have obtained the following results; (1) maximal $\dot{V}O_2$ and maximal HR on exercise were remarkably increased, although maximal $\dot{V}O_2$ was increased mildly and maximal HR moderately on sauna stress. (2) $\dot{V}O_2$ and HR were positively correlated on exercise. (3) The respiratory quotient (RQ) was significantly decreased after sauna stress, although it was increased after exercise. We could estimate the proportion of glucose and fat in energy expenditure using $\dot{V}O_2$ and RQ. In conclusion, the energy expenditure would be attributable to not only glucose but also fat metabolism on sauna stress, meanwhile it would be mainly glucose metabolism on exercise.

Key words: whole thermotolerance (Sauna) stress, respiratory quotient (RQ), oxygen uptake ($\dot{V}O_2$), heart rate (HR)

要旨: 肥満患者を対象に運動および全身温熱（サウナ）負荷テストによる呼気ガス分析を実施し、呼吸循環器面より両負荷の生理学的影響について比較検討した。また運動強度からエネルギー需要量を推測できることから、両負荷による非蛋白呼吸商から負荷方法の違いによる糖および脂肪のエネルギー消費の関与について検討した。その結果、(1) 自転車エルゴメーターによる運動負荷で最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2\text{max}}$) および最大心拍数 (HR max) は著しく増加したのに対し、サウナ負荷では $\dot{V}O_{2\text{max}}$ は軽度の増加と HR max は、中等度の増加にとどまった。(2) サウナ負荷で呼吸商 (RQ) は、運動負荷時と比較して有意に低値を示した。(3) サウナ負荷時の最大心拍数を運動負荷テストより得られた心拍数と酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) の回帰式より酸素摂取量を計算した期待値すなわちサウナ負荷時の予想 $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 値は、実際のサウナ負荷時の実測 $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 値より有意に高値を示した。これらの結果より、運動強度および非蛋白呼吸商から糖および脂肪のエネルギー消費の関与する割合を推測すると、運動負荷では RQ と $\dot{V}O_2$ が高く、糖質の燃焼の割合が高いのに対して、サウナ負荷では RQ と $\dot{V}O_2$ が低く、脂肪燃焼の割合が高いと考えられる。すなわち運動負荷では主にグルコース代謝によるエネルギー消費が、またサウナ負荷ではグルコース代謝のみならず脂肪代謝が関与することが示唆された。

キーワード: 全身温熱（サウナ）負荷テスト、非蛋白呼吸商、酸素摂取量、心拍数

1) 兵庫県立総合リハビリテーションセンター内科：神戸市西区曙町 1070 (〒651-21) TEL 078-927-2727

2) 兵庫県立総合リハビリテーションセンター理学診療科

3) 神戸大学医学部保健学科

I. 緒 言

運動や全身温熱負荷（サウナ負荷）において発汗による体重減少効果は、周知の事実である¹⁻³⁾。科学的見地から運動やサウナ負荷による体重減少が、(1) 血管および細胞内脱水のみに基づくか否か、またこれらの負荷により、(2) どの程度の糖および脂肪のエネルギー消費が関与し、その割合がどの程度を占めるのかを知る必要がある。運動生理学的に運動強度からエネルギー需要量を推測する際に、消費した O_2 容積と発生した CO_2 容積から算出される呼吸商（respiration quotients: $RQ = \dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$ ）が利用される⁴⁾。非蛋白呼吸商と発生熱量に関するAhlborgらの報告⁵⁾より、非蛋白呼吸商から発生熱量の糖質・脂質の割合が推測される。そこで今回の研究では、肥満患者を対象に運動およびサウナ負荷テストによる呼気ガス分析を実施し、呼吸循環器面より両者の生理学的影響について比較検討し、負荷方法の違いによる糖および脂肪のエネルギー消費の関与について考察する。

II. 対象と方法

対象は、肥満患者19人（男性6人、女性13人）、平均年齢 49.4 ± 13.5 歳である。肥満度を示す平均Body Mass Index (BMI) は $29.6 \pm 4.9 \text{ kg/m}^2$ および平均体脂率(%fat)は $34.6 \pm 10.5\%$ であった。うち7名に高血圧症を認め、5名が降圧剤（カルシウムブロッカーおよび β -ブロッカー）を服用し、また5名に糖尿病を認め、2名が経口血糖降下剤（グリベンクラマイド）を服用していた。メデイカルチェック後に、負荷の方法として運動負荷とサウナ負荷を施行した。運動負荷テストは、自転車エルゴメーター（ロードコリパルWLP-400, ロード社, ドイツ）を使用し、対象患者個々の体力のエンドポイントまで毎分20 Wattsの漸増負荷をかけ、またサウナ負荷には、ドライタイプのサウナ（ノーリツSN-201, ノーリツ社, 日本）により 60°C 、30分間の温熱負荷をかけた。それぞれ両負荷中の呼気ガス分析（ミナトRM-300システム, ミナト社, 日本）を実施し、酸素摂取量（ $\dot{V}O_2$ ）・二酸化炭素産出量（ $\dot{V}CO_2$ ）および心拍数（HR）を測定し、20秒間毎の平均値で表わし、得られた $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}CO_2$ から呼吸商を算出した。

統計学的検討

得られた数値は、平均±標準偏差で表わし、paired Student's T-testにより $p < 0.05$ 以下を有意差ありとした。

III. 結 果

肥満患者における運動およびサウナ負荷時の呼気ガス分析の結果を図1に示す。最大酸素摂取量（ $\dot{V}O_{2 \text{ max}}$ ）の安静時酸素摂取量（ $\dot{V}O_{2 \text{ rest}}$ ）に対する割合（ $\dot{V}O_{2 \text{ max}}/\dot{V}O_{2 \text{ rest}}$ ）および最大心拍数（HR max）の安静時心拍数（HR rest）に対する割合（HR max/HR rest）を両負荷で比較すると、運動負荷時の $\dot{V}O_{2 \text{ max}}/\dot{V}O_{2 \text{ rest}}$ は、6.8倍と著しく上昇したのに対して、サウナ負荷時では1.3倍しか上昇しなかった。一方、運動負荷時のHR max/HR restは、およそ1.7倍に上昇したのに対して、サウナ負荷時では、1.3倍と中等度の上昇を示した。肥満患者における自転車エルゴメーターによる運動負荷時のHRと $\dot{V}O_2$ との関係を図2に示す。両者は正の相関（ $r = 0.81$ ）を認め、その回帰式は $Y = 10.39X - 317.9$ であった。運動およびサウナ負荷時の $\dot{V}O_{2 \text{ max}}$ を表1に示す。サウナ負荷時のHR maxを運動負荷テストより得られた回帰式より $\dot{V}O_2$ を計算した期待値すなわちサウナ負荷時の予想 $\dot{V}O_2$ 値は、およそ $617 \pm 164.3 \text{ ml/min}$ で、サウナ負荷時の実測 $\dot{V}O_2$ 値

図1 肥満患者における運動およびサウナ負荷による呼気ガス分析

図2 肥満患者における運動時の心拍数と酸素摂取量の相関

表1 肥満患者における運動およびサウナ負荷時の酸素摂取量の比較

運動負荷時の $\dot{V}O_2$ 実測値 (ml/min)	1269.4 $\pm$ 426.1
サウナ負荷時の $\dot{V}O_2$ 実測値 (ml/min)	236.9 $\pm$ 42.7
サウナ負荷時の予想 $\dot{V}O_2$ 値 (ml/min)	617.5 $\pm$ 164.3

* $p < 0.001$ ** $p < 0.01$ Mean $\pm$ SD

236.9 $\pm$ 42.7 ml/min より有意に高値を示し ($p < 0.01$), サウナ負荷時の実測 $\dot{V}O_2$ 値と予想 $\dot{V}O_2$ 値との間で解離を認めた。運動およびサウナ負荷前後での RQ の変化を表2に示す。運動後の RQ は 1.08 $\pm$ 0.15 であるのに対して, サウナ負荷後の RQ は 0.82 $\pm$ 0.10 と有意に低下した ($p < 0.05$)。

IV. 考 察

肥満患者の基本的治療のひとつに運動療法があり, 中等度の運動強度による体重減少効果とその生理学的影響に関する報告⁶⁻⁸⁾ は数多く見られる。しかし肥満患者の体重減少を目的とした補助的治療のひとつであるサウナ療法は, 民間療法のひとつとして確立しているが, 科学的見地よりその生理学的影響についての報告は皆無に等しい。そこで今回の研究では, 肥満患者を対象に自転車エルゴメーターによる運動およびサウナ負荷テストによる呼気ガス分析を実施し, 呼吸循環器面より両負荷の生理学的影響について比較検討し, 運動強度からエネルギー

表2 運動およびサウナ負荷時の呼吸商 (RQ) の変化

Exercise	pre	0.94 $\pm$ 0.11
	post	1.08 $\pm$ 0.15
Sauna	pre	0.93 $\pm$ 0.16
	post	0.82 $\pm$ 0.10

* $p < 0.05$ Mean $\pm$ SD

図3 運動強度と呼吸商および糖・脂肪燃焼比

ギー需要量を推測できることから, 両負荷による非蛋白呼吸商から負荷方法の違いによる糖および脂肪のエネルギー消費の関与について検討した。その結果, 運動負荷により $\dot{V}O_2$ max および HR max は著しく増加し, これまでの報告⁹⁻¹⁰⁾ と一致する。一方, サウナ負荷では $\dot{V}O_2$ max の軽度の増加と HR max の中等度の増加にとどまった。また肥満患者において運動負荷時の HR と $\dot{V}O_2$ とは, 正の相関を認め, 健常人における HR と $\dot{V}O_2$ に関する報告¹¹⁾ と一致した。そこでサウナ負荷時の HR max を運動負荷テストより得られた回帰式より $\dot{V}O_2$ を計算した期待値すなわちサウナ負荷時の予想 $\dot{V}O_2$ 値を求めると, サウナ負荷時の実測 $\dot{V}O_2$ 値より有意に高値を示し, サウナ負荷時の実測 $\dot{V}O_2$ 値と予想 $\dot{V}O_2$ 値との間で解離を認めた。これらの結果より運動およびサウナ負荷において呼吸循環器に及ぼす影響で異なることが示唆される。

Astrand らの報告¹²⁾ から, 運動強度と RQ および糖・脂肪燃焼比の関係を図3に引用した。運動強度および RQ からエネルギー需要量を推測できることから, 運動およびサウナ負荷による負荷方法の違いにより糖および脂肪のエネルギー消費の関与について検討した。その結果, 運動負荷では RQ は 1.0 に近く, 運動強度を示す % $\dot{V}O_2$ は高

く、糖質の燃焼の割合が高いのに対して、サウナ負荷では低い $\% \dot{V}O_2$ とRQの低下すなわち脂肪燃焼の割合が高いことを意味する。

今回の研究において、肥満患者を対象にした運動およびサウナ負荷テストによる呼気ガス分析の結果、呼吸循環器に及ぼす生理学的影響で異なり、運動負荷では主にグルコース代謝によるエネルギー消費が、またサウナ負荷ではグルコース代謝のみならず脂肪代謝が関与することが示唆された。

引用文献

- 1) Hubert HB, et al.: Obesity as an independent risk factor for cardiovascular diseases: a 26-year follow up of participants in the Framingham Heart Study. *Circulation*, 67: 968-977, 1983.
- 2) Bray GA, et al.: Some respiratory and metabolic effects of exercise in moderately obese men. *Metabolism*, 26: 403-412, 1977.
- 3) 加藤順一・他: 肥満をとまなう片麻痺および対麻痺患者における全身温熱(サウナ)療法の体重減量効果について. *理学療法科学*, 11: 3-6, 1996.
- 4) Karpovich PV: *Physiology of Muscle Activity*. Philadelphia Press, 1982, pp 25-41.
- 5) Ahlborg et al.: Muscle glycogen and muscle electrolytes during prolonged physical exercise. *Acta Physiol Scand*, 70: 129-142, 1967.
- 6) Babb TG, et al.: Ventilatory response of moderately obese women to submaximal exercise. *Int J Obesity*, 15: 59-66, 1991.
- 7) Takahashi et al.: Relationship between muscle fatigue and oxygen uptake during cycle ergometer exercise with different ramp slope increments. *Eur J Appl Physiol*, 65: 335-339, 1992.
- 8) Katoh J, et al.: Effects of exercise on weight reduction in middle-aged obese women. *Current Therapeutic Res*, 55: 1075-1078, 1994.
- 9) Wassermann K, et al.: Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol*, 35: 236-243, 1973.
- 10) Leyk D, et al.: Influence of body position and pre-exercise activity on cardiac output and oxygen uptake following step changes in exercise intensity. *Eur J Appl Physiol*, 65: 499-506, 1992.
- 11) Wassermann K.: Dyspnea on exertion. *JAMA*, 248: 2039-2043, 1982.
- 12) Astrand PO, et al.: Cardiac output during submaximal and maximal work. *J Appl Physiol*, 19: 268-272, 1967.