

## 寒冷馴化および運動鍛練ラットにおける熱産生量の評価

櫻村修生・柳平坦徳・酒井秋男・上田五雨

信州大学医学部環境生理学教室

### Evaluation of Thermogenesis in Cold-Acclimated and Exercise-Trained Rats

Osamu KASHIMURA, Yasunori YANAGIDAIRA, Akio SAKAI and Gou UEDA

Department of Environmental Physiology, Shinshu University School of Medicine

**Abstract :** This study was designed to evaluate the resting thermogenesis in cold-acclimated and exercise-trained rats, considering the body composition. This total metabolic rate and lean body mass for the sedentary warm acclimated group were similar to those for the exercise-trained group. But the total metabolic rate, lean body mass and urinary creatinine excretion were significantly different in the cold-acclimated group from those of other groups. From these results, the evaluation of thermogenesis should be made with reference to qualitative and quantitative metabolic activities in tissues.

**Key words :** thermogenesis, cold-acclimation, exercise-training, urinary creatinine excretion

熱産生量, 寒冷馴化, 運動鍛練, 尿中クレアチニン排泄量

### 緒 言

現在、熱産生量の指標は、単位体重当たりの酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ : ml/kg/min) で示されている<sup>1,2)</sup>。しかし、運動トレーニングや寒冷馴化は体組成を変化させるので、熱産生量を評価する際に  $\dot{V}O_2$  を単位体重当たりで示すだけでは充分でない。つまり、運動トレーニングや寒冷馴化は、比較的高い活性組織である筋肉および内臓はもとより、低い代謝活性組織である脂肪を変化させるため、体重を相対的に減少させ<sup>3)</sup>、さらには、種々の組織において単位重量当たりの代謝活性も増大させる可能性がある。したがって、総  $\dot{V}O_2$  や単位体重当たりの  $\dot{V}O_2$  が、増加することが推測される。

そこで、寒冷馴化および運動トレーニングによってラットの体組成と熱産生量に如何なる変化が生ずるか検討した。

### 材料と方法

実験動物として Wistar 系雄ラット30匹を用い、10匹ずつ以下の3群に分けて9週間飼育した。(1)温暖

対照群 (WA) : 気温25度の室温下で安静飼育した。

(2) 寒冷馴化群 (CA) : 気温5℃の温度下で飼育した。(3) 温暖馴化運動トレーニング群 (ET) : 25℃で飼育し、運動を小動物用トレッドミルによって、走行速度30m/min、1日1時間週6回実施した。測定項目は、次に示す。

(1) 体重 : 飼育終了時点で計測した。

(2) 安静時代謝量 (resting oxygen consumption :  $\dot{V}O_2$ ) : 気温25℃の温度下で開放式呼気ガス分析装置により酸素摂取量を求めた。(3) 1日尿中 Creatinine 排泄量 (Creat) : 気温25℃温度下で、代謝ケージを用い1日尿を採集した。Creat の分析には、クレアチニンテストワコー (和光純薬) を用い、分光光度計 (日立U-1000) で測定した。

(4) 臓器重量 : 飼育終了後、副こう丸白色脂肪 (WAT)、心臓、腎臓および肝臓を摘出し、直ちに計量した。

(5) 体脂肪量の推定 : 柳平らの報告<sup>4)</sup> に従って副こう丸脂肪量から体脂肪を推定した。

なお、飼育期間中は、飼料と水道水を自由に摂取さ

寒冷馴化と運動鍛練による熱産生量の評価

せた。また、それぞれの測定前24から30時間は、ETでトレーニングを中止し、CA群は25℃に滞在させた。

実験成績

Table 1は、寒冷馴化および運動鍛練による体重、体脂肪、臓器重量および尿中Creat排泄量の変化を示す。体重は、3群間に有意差が認められ、WA>ET>CAの順である。また、体脂肪率も3群間に差が認めら

れ、WA>CA>ETの順である。心、肝および腎重量は、それぞれCA>ET>WAの順である。

尿中Creat排泄量は、3群間に有意差を認めないが、CA群で大きい傾向を示す。

安静時の単位体重当たりの $\dot{V}O_2$ は、3群間に差があり、CA>ET>WAの順である。総 $\dot{V}O_2$ と比較しても、CA群が他群より有意に大きい。

Table.1 Effects of cold acclimation and physical training on body composition, internal organs, urinary creatinine excretion and resting  $\dot{V}O_2$ .

	Warm(WA) (n=10)	Cold(CA) (n=10)	Trained(ET) (n=10)	p CA vs.ET
Body weight (B.W. : g)	293.8±18.4	250.5±12.9**	270.5±9.9**	<0.05
% Body fat (%)	13.79±2.58	8.48±1.41**	7.02±1.07**	<0.05
LBM (g)	253.3±15.8	229.3±11.8**	251.5±9.2	<0.01
WAT (g/kg B.W.) (mg)	23.49±2.08 7114.0±1167.8	15.59±1.61** 3636.8±434.5**	15.23±1.69** 3226.0±319.7**	N.S. N.S.
Heart (g/kg B.W.) (mg)	3.030±0.142 883.3±34.2	3.833±0.309** 958.3±88.9*	3.480±0.229** 936.1±39.4*	<0.05 N.S.
Kidneys (g/kg B.W.) (mg)	6.624±0.455 1938.5±118.6	8.495±0.274** 2127.8±125.6	7.600±0.683** 2083.5±211.2	N.S. N.S.
Liver (g/kg B.W.) (mg)	33.305±3.358 9683.3±1290.5	42.167±1.829** 10556.8±603.6	36.141±6.494 9765.4±1760.5	<0.05 N.S.
Creatinine (mg/day)	6.428±1.167	7.264±1.132	6.637±2.108	N.S.
Resting $\dot{V}O_2$ (ml/kg/min) (ml/min)	21.24±1.04 6.688±0.327	29.49±2.62** 7.850±0.697**	24.57±3.24* 6.646±0.876	<0.01 N.S.

Warm : Warm-acclimated control rats, Cold : Cold-acclimated rats

Trained : Physical endurance trained rats

LBM : Lean body mass, WAT : Epididymal white adipose tissue

p vs. warm-acclimated group (\* P<0.05, \*\* P<0.01)

N. S. : not significant

Fig. 1は、体重と安静時酸素摂取量の関係を示す。 $\dot{V}O_2$ は、CA群において体重が小さいにもかかわらず、他群より大きい値を示す。また、 $\dot{V}O_2$ は、ET群において、WA群より体重が小さいにもかかわらず同じ程度の値である。

Fig. 2は、除脂肪体重(LBM)と $\dot{V}O_2$ の関係を

示す。WA群とEA群では、両者の関係がほぼ同位置を示すが、CA群の $\dot{V}O_2$ は、他群よりLBMが小さいにもかかわらず高値を示す。

Fig. 3は、尿中Creat排泄量と $\dot{V}O_2$ の関係を示す。両者の間には、正の相関関係(P<0.01)を認める。

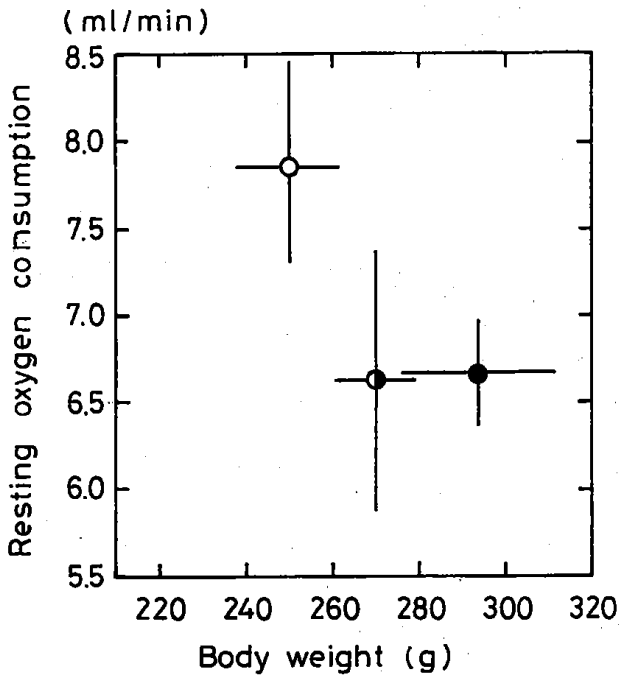


Fig.1 Relationship between body weight and resting oxygen consumption. closed circle : cold-acclimated rats, half closed circle: exercise-trained rats.

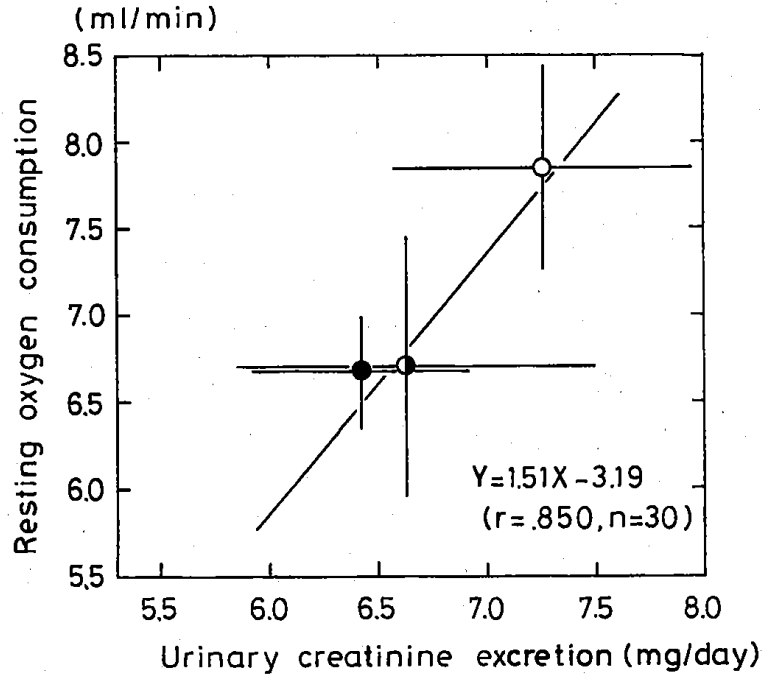


Fig.3 Relationship between urinary creatinine excretion and resting oxygen consumption. Legends are the same as in Fig.1

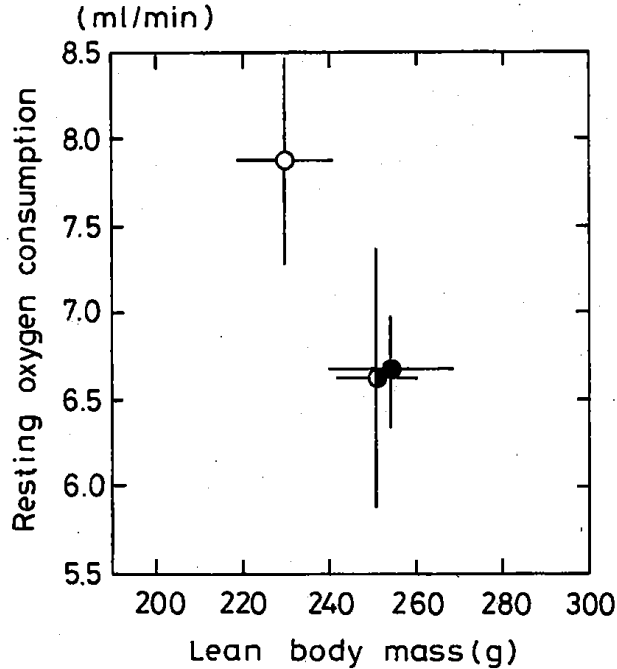


Fig.2 Relationship between lean body mass and resting oxygen consumption. Legends are the same as in Fig.1.

考 察

温暖馴化ラットに比較し、運動トレーニングおよび寒冷馴化ラットは、安静時における単位体重当たりの熱産生量は増大を示す<sup>1,2)</sup>。しかし、総 $\dot{V}O_2$ は、WAとET群の間に差がない。また、WAとET間に体重差がみられるにもかかわらず、LBMおよびCreat量には差がない。つまり、LBMと $\dot{V}O_2$ の関係で、WAとET群がほぼ同じ位置にあることから考えても、運動トレーニング群の場合、体重当たりで $\dot{V}O_2$ を表すのではなく、LBM当たりで熱産生量を評価するべきである。

CA群では、総 $\dot{V}O_2$ およびCreat量は他群より大きく、LBMは他群より小さい。これまでの報告<sup>5,6)</sup>から考えて、代謝活性の大きいとされるLBMが多ければ $\dot{V}O_2$ も大きいはずであり、両者の相関関係が負であることは問題である。しかし、Creat量と $\dot{V}O_2$ の関係では、正の相関関係を示す。Creat量は、組織における代謝活性の指標となる<sup>9)</sup>。寒冷馴化では、単位組織当たりの代謝活性が亢進している可能性がある。つまり、寒冷馴化ラットの場合、熱産生量は組織での代謝活性の問題も含めて評価する必要があり、Creat量当たりで表すことがもっとも厳密と考える。

## 寒冷馴化と運動鍛練による熱産生量の評価

In vitro において、肝、腎等の熱産生量は、寒冷馴化で亢進し<sup>7)</sup>、持久的運動鍛練では、亢進しないこと<sup>8)</sup>が報告されている。熱産生量の亢進は、寒冷馴化の場合相対的な体脂肪量の減少ならびに組織代謝活性が関与しているのに対して、運動鍛練の場合体脂肪量の減少のみが関与している。つまり、熱産生量の評価には、単位体重当たりの  $\dot{V}O_2$  だけでは不十分であり、寒冷馴化があれば組織における質的量的な代謝活性に、また運動鍛練があれば量的な活性が配慮が必要となろう。

### 要 約

本研究は、寒冷馴化と運動鍛練ラットにおける熱産生量を体組成の面から検討した。熱産生量の評価は、運動鍛練の場合、体脂肪を考慮することが大切であり、寒冷馴化の場合、組織代謝活性も含めた考慮が必要である。

この研究の一部は、文部省科学研究費（奨励研究A、課題番号 01780182）により行われた。

### 文 献

- 1) 榎村修生：ラットの持久的トレーニングが耐寒性に与える影響。長野体育学研究，3：31-38，1988。
- 2) 榎村修生，柳平坦徳，上田五雨：寒冷馴化ラットの非ふるえ熱産生に与える運動トレーニングの影響。環境科学年報，11，79-84，1989。
- 3) 榎村修生：ラットにおける持久的トレーニングと全身耐寒性の正の交叉適応。日本生理誌，50：753-760，1988。
- 4) 柳平坦徳，上田五雨，竹岡みち子：持久走運動後の寒冷馴化ラットの体組成変化。日生氣誌，24：61，1987。
- 5) 榎村修生，中井誠一，伊藤孝，佐藤和英，柴田紘三郎，綿井永寿：大学ラグビー選手の基礎代謝量—身体組成，尿中および血清クレアチニン量との関連から—。日本体育大学紀要，11：61-66，1982。
- 6) Miller, A. T. Jr. and Carl, S. B. : Estimation of lean body mass and creatinine excretion. J. Appl. Physiol., 5 : 73-78, 1952.
- 7) Weiss, A. K. : Adaptation of rats to cold air and effects on tissue oxygen consumptions. J. Physiol., 177 : 201-206, 1954.
- 8) 原田邦彦，酒井敏夫：ラットの基礎代謝に及ぼす中等度な強度による持久的反復運動負荷の影響。日本生理誌，47：213-218，1985。