

持久的トレーニングラットの 急性寒冷暴露時代謝特性

檜村修生

Characteristics of Metabolisms to Acute Cold Exposure in Physical Trained Rats

OSAMU KASHIMURA

Abstract: This study suggested the effects of physical endurance training on the metabolisms to acute cold exposure in rats. Decrease of glucose concentration after acute cold exposure in trained rats was smaller than that in control rats. Increment of the metabolic responses after noradrenaline administration in trained rats was smaller than that in control rats. It appeared that the thermogenic factors, such as the glucose metabolism, other than noradrenaline-dependent nonshivering thermogenesis may contribute to the enhanced thermogenesis to cold in trained rats.

緒言

ラットの場合、寒冷馴化は慢性的寒冷暴露により約4週間で成立し、寒冷時の Noradrenaline (NA) 感受性の増大が生じるとともに、Adrenaline (A)、副腎皮質 hormone および 甲状腺 hormone 等は寒冷馴化にともない増大から減少へと移行し、馴化前のレベルへともどる。¹⁾

すでに、比較的長期間つまり2～4か月程度の持久的トレーニングにおいて、

ラットの耐寒性は改善され、正の Cross - Adaptation が成立することは報告されている。²⁾ また、この Cross-Adaptation は、トレーニング量40km以上ランニングスピード30m/min を兼ね設えている条件³⁾に満たない場合、とくにトレーニング初期において、寒冷暴露に対する生体反応の報告は皆無である。そこで、比較的トレーニング初期にある急性寒冷暴露時の耐寒性機序について検討する。

実験方法

ラットは、Wistar 系雄ラット5週令30匹を3条件に分け飼育した。各条件は次に示すとおりである。

1. 温暖馴化対照群 (W群) : 気温25°Cで安静飼育した。
2. 寒冷馴化群 (C群) : 気温5°Cで飼育した。
3. 温暖馴化トレーニング群 (T群) : 気温25°Cで飼育し、持久的トレーニングを実施させた。トレーニングは、小動物用トレッドミルを用い、走行スピード30m/min で1日1時間、週5回実施した。総走行距離は、約20kmであった。餌 (オリエンタル, MF) および水は自由摂取とした。各条件下でラットは、3週間飼育した後、18~24時間の絶食および25°C暴露し、次の実験に供した。

I, 急性寒冷暴露時の熱産生および体温測定

ラットは、気温0°Cに3時間急性暴露し、酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) および結腸温 (Tcol) を測定した。また、この測定に先立ち、気温25°Cにおいて同様に $\dot{V}O_2$ および Tcol を測定し、急性寒冷暴露時の変化量を算出した。

II, 生化学的分析

I の実験後、気温0°Cに3時間急性暴露後、エーテル麻酔により脱血し、血中 Glucose (Glu.), 血清遊離脂肪酸 (FFA) および血漿カテコールアミン

(CA) を測定した。血中 Glu. は、発色法、血清 FFA は Itaya 変法⁴⁾ および血漿 CA は、高速液体クロマトグラフィ、ECD法により測定した。⁵⁾ なお、CA測定のための前処理法は、活性アルミナ吸着法を用いた。⁶⁾ また、腓腹筋、肝臓および褐色脂肪組織 (BAT) の Glycogen 含有量 (Gly.) は、Anthonon 法⁷⁾ により定量した。

Ⅲ、組織重量

ラット解剖後、BAT および心臓重量を測定した。

結果および考察

飼育終了時の体重は、W群 190.9 ± 13.9 g, C群 184.5 ± 6.7 g, および T群 178.0 ± 16.8 g であり、各群間に有意差がなかった。寒冷馴化およびトレーニングのそれぞれ完成期には、W群に比較して体重の減少が報告されており、^{2,3)}

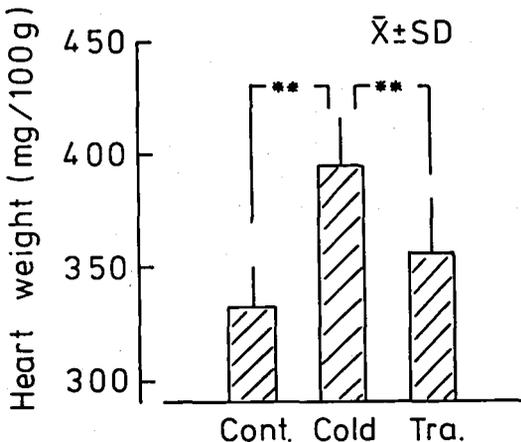


図1 各群における単位体重あたりの心重量
 ** $p < 0.01$
 Cont.: 対照群, Cold: 寒冷馴化群
 Tra.: 持続的トレーニング群

本研究の結果から、体重の面からみた寒冷暴露および運動負荷の効果はみられず、それぞれへの適応途中であることがうかがわれる。

図1は、各群における単位体重あたりの心重量を示した。この心重量は、W群に比較し、C群およびT群でそれぞれ危険率1および5%で有意差が認められた。すでに、単位体重あたりの心重量の増加は、寒冷馴化

やトレーニングによって明らかにされており^{2,3)} 体重に比べ、比較的適応の初

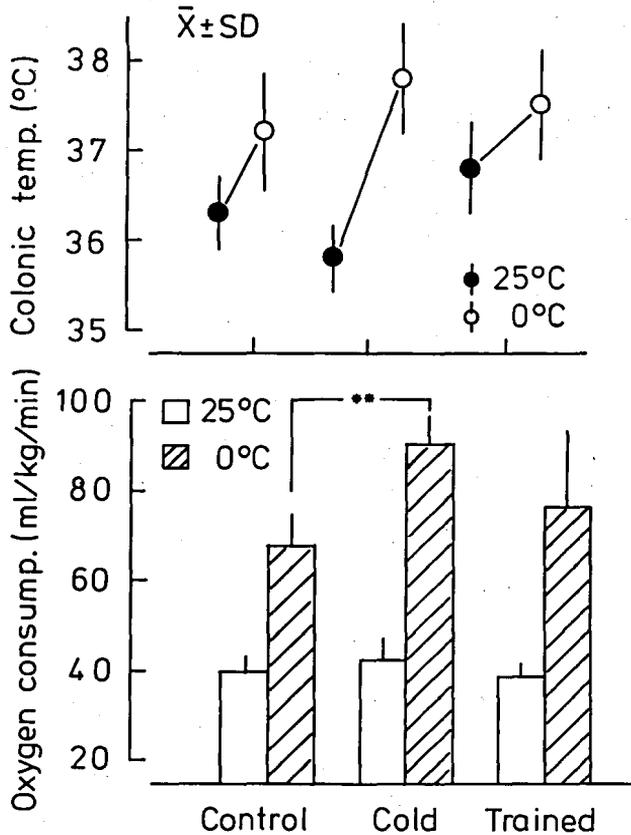


図2 気温25°Cおよび0°Cにおける急性寒冷暴露時の $\dot{V}O_2$ および T_{col} 変化
 ** $p < 0.01$

期段階でそれぞれの効果があらわれた。

図2は、気温25°Cおよび0°C急性暴露時の $\dot{V}O_2$ および T_{col} を示した。それぞれ $\dot{V}O_2$ および T_{col} は、急性寒冷暴露により有意な増大を示した。また、0°C時の $\dot{V}O_2$ は、W群よりC群が有意に大きかった。寒冷暴露時の熱産生は、全身耐寒性の基礎となる指標であり⁸⁾、その亢進が大きいほど増強を示すものである。C群におけるその熱産生は、W群のそれより有意に大きく、すでに全身耐寒性の増強が獲得されているのに対し、T群ではその増強がC群に比べ小

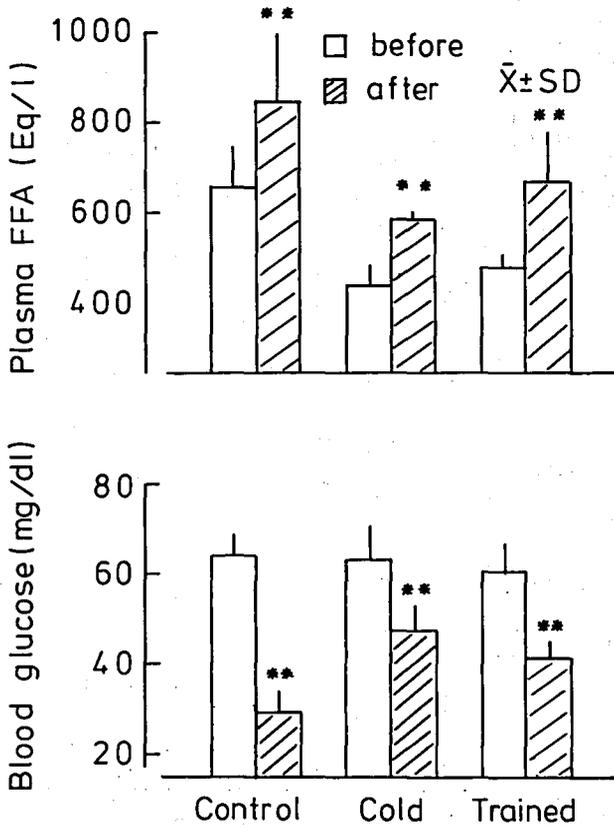


図3 急性寒冷暴露前後の血中Glucoseおよび血清FFA濃度
 ** $p < 0.01$: 暴露前後の有意差

さかった。つまり、トレーニングによる全身耐寒性増強の獲得には、さらにトレーニングを積むことが必要と考える。このことは、 $\dot{V}O_2$ と同時に測定した T_{col} の変化からも言える。

図3は、各群における急性寒冷暴露前後の血中 Glucose (Glu.) および血清 FFA (FFA) 濃度を示した。Glu.は、寒冷暴露後、W群に比較しCおよびT群で有意に高く、これは、Kuroshima et al. の報告⁹⁾によれば、Glu.の利用の促進を示すものであり、肝でのGluconeogenesisの亢進により生ずるとした。FFAは、寒冷暴露時にほぼ低下量が各群とも同程度であり、脂肪酸利用

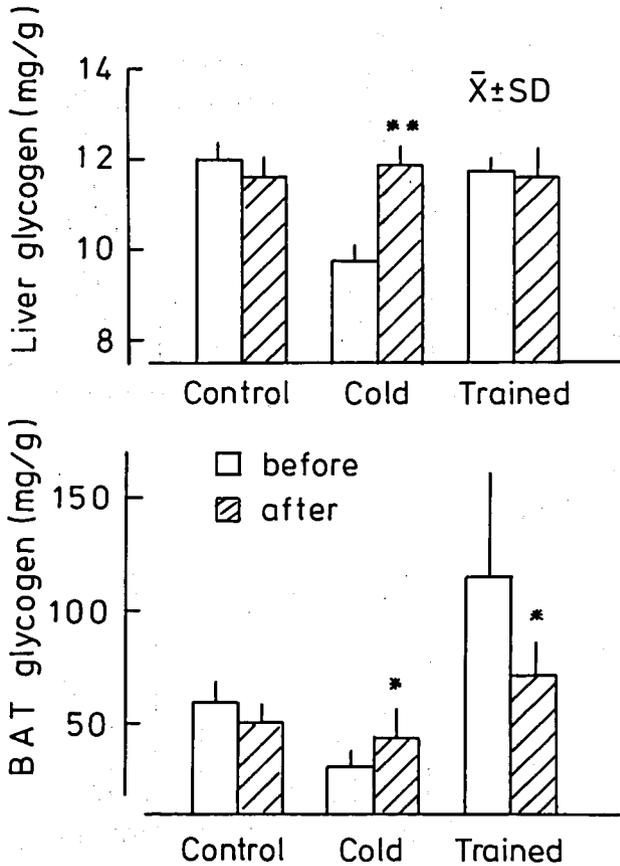


図4 急性寒冷暴露前後の肝および褐色脂肪組織Glycogen含有量
 ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$: 暴露前後の有意差

にはほぼ差異がないと思われる。つまり、寒冷馴化により一般に脂肪酸の利用は促進されるはずであるが、本研究においては馴化完成前の状態にあり、熱産生亢進は糖利用の促進によって補われており、これまでの報告と一致した。⁹⁾

図4, 5は、急性寒冷暴露前後の肝、筋およびBAT中Glycogen含有量を示した。肝中Gly.は、C群において寒冷時に増大を示し、Gluconeogenesisの増大⁹⁾が示された。また、筋中Gly.は、W群で寒冷時に有意に減少が示され、W群での筋におけるGly.利用と同時に、筋におけるGluconeogenesisの低下が推

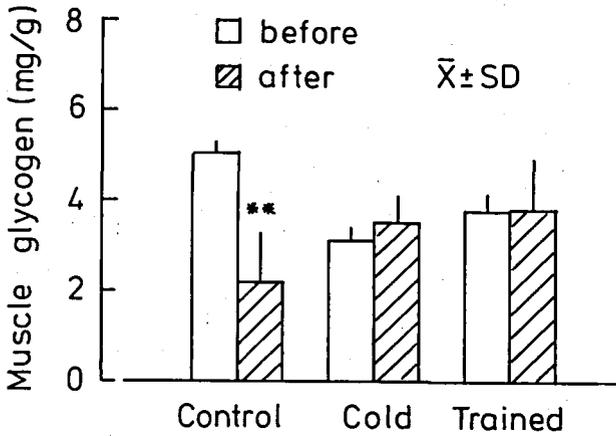


図5 急性寒冷暴露前後の腓腹筋Glycogen含有量
 ** $p < 0.01$: 暴露前後の有意差

測された。また、CおよびT群においても、筋中Gly.は、利用されていることから、血中から筋へのGly.の補充が促進されているのであろう。さらにBAT内Gly.は、C群で有意に増加しているのに対し、T群では有意に減少している。つまり、すでに Depocas et al. により報告¹⁰⁾されているように、寒冷馴化により寒冷暴露時のBAT中Gly.利用は、促進し、さらにBAT中Gly.代謝回転も促進するとした。つまり、C群において寒冷暴露時BAT中Gly.は減少しないのは、その代謝回転の促進が寄与すると思われる。また、T群のBAT中Gly.は、寒冷暴露により低下を示し、Gly.利用がW群よりは顕著に増大しているであろう。

図6は、急性寒冷暴露前後の血漿NAおよびA濃度を示した。寒冷暴露時のNAは、W群およびC群で有意に増大を示したが、T群では差がなかった。また、寒冷暴露時のAは、WおよびT群で有意に高く、C群では有意な上昇はなかった。CA分泌からみて、寒冷暴露時の代謝特性は、C群でNAによる脂肪酸の利用促進、T群でAによる糖質を中心とする利用促進、およびW群では脂肪酸および糖質両方の利用が考えられる。しかし、すでに報告¹¹⁾されているように、W群のように分泌は増大しているが、その感受性は亢進しないというこ

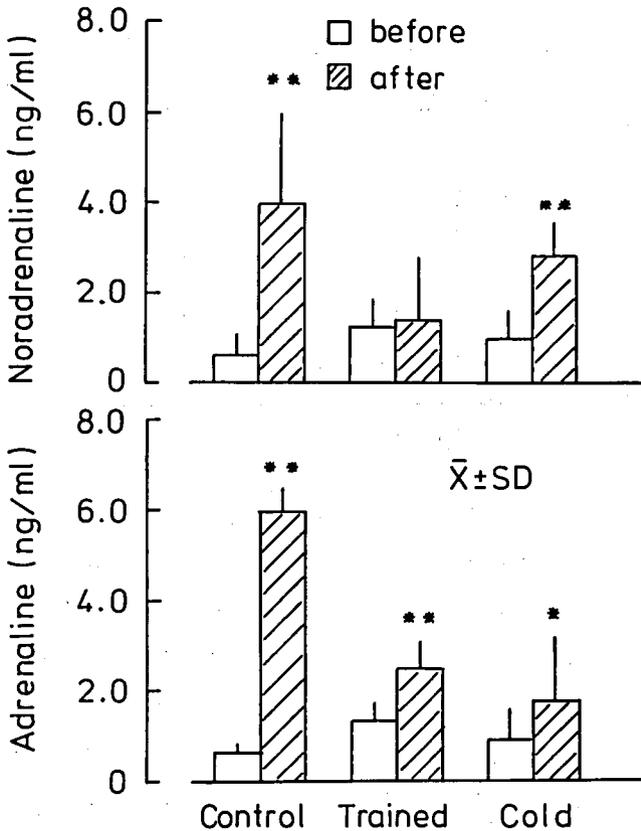


図6 急性寒冷暴露前後の血漿NAおよびA濃度
 ** p<0.01: 暴露前後の有意差

ともあり、T群におけるCAの感受性も検討することにより、NSTの促進の有無が問題にされるべきであろう。

図7は、単位体重あたりBAT重量を示した。BATは、C群が有意に他群より増大した。急性寒冷暴露時の熱産生亢進にBAT重量は関係があり、C群におけるBATの増大は、耐寒性の改善の一指標とされている。¹²⁾しかし、T群のBATは、W群のそれより減少傾向にあり、BAT重量そのものを耐寒性の指標にすることはできないが、BAT中Gly.は他群より高く、その利用も促進していることから、無関係とは言いがたい。

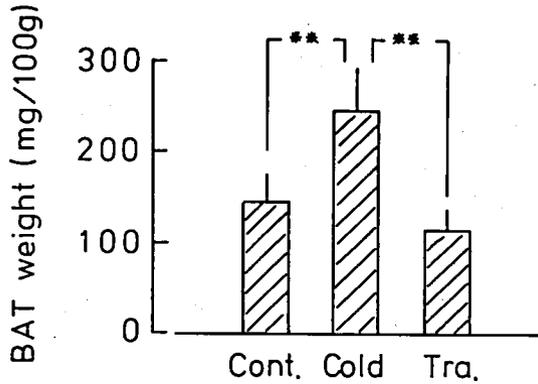


図7 単位体重あたりの褐色脂肪組織重量
** P<0.01

T群における急性寒冷暴露時の熱産生亢進、つまり全身耐寒性の増強は、糖質の利用促進により生じ、これまでの報告と考え合わせると、骨格筋での Shivering の亢進つまり、ATPの分解の際、糖の酸化を生じ、筋ではGlu.の酸化物である乳酸が肝に送られ、グルコースに再生され、筋でのATP分解は増強され熱発生は大となる¹³⁾ことが推測された。

結 論

短期間の持久的トレーニングによるラットの急性寒冷暴露時の代謝特性を検討するため、主に血中および組織における糖質代謝を測定した。

1. T群における血中Glu.の利用は寒冷暴露時に促進した。
2. T群における肝中Gly.は増大せず、Gluconeogenesis の促進はなかった。
3. T群におけるBAT中Gly.は減少を示し、利用促進が明らかになった。
4. 以上のことから、T群における急性寒冷暴露時の熱産生亢進つまり全身耐寒性の改善は、すでに短期間の持久的トレーニングにより増強される傾向にあり、その増強は糖質利用つまり慢性寒冷暴露初期の代謝特性と類似する反応である。

文 献

- 1) Chaffee, R.R.J. and Roberts, J.C.: Temperature acclimation in birds and mammals, *An.Rev.Physiol.*, 23, 155-160, 1971.
- 2) Kashimura, O.: Effects of endurance training on tolerance to cold in rats, *Bulletin of Shinshu Honan Women's Junior College*, 5, 99-112, 1988.
- 3) 檉村修生: 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.
- 4) Itaya, K. and Ui, M.: Colorimetric determination of free fatty acids in biological fluids, *J. lipids Res.*, 6, 16-20, 1965.
- 5) Iriyama, K. Yoshiura, M. and Iwamoto, T.: Determination of catecholamines in rat tissue by High-Performance liquid chromatography with electrochemical detection, *Jikeikai Med. J.* 30, 35-43, 1983.
- 6) Anton, A.H. and Sayre, D.F.: A study of the factors affecting the aluminum oxidetrihydroxyindole procedure for the analysis of catecholamines, *J. Pharmacol Exp. Therp.*, 138, 360-375, 1962.
- 7) Good, C.A. Kramer, H. and Somogyi, M.: The determination of glycogen. *J. Biol. Chem.*, 100, 485-495, 1933.
- 8) Stromme, S.B. and Hammel, H.T.: Effects of physical training on tolerance to cold in rats, *J. Appl. Physiol.* 23, 815-824, 1967.
- 9) Kuroshima, A., Doi, K. Kurahashi, M. and Ohno, T.: Effects of diets on cold tolerance and metabolic responses to cold in fasted rats, *Jpn.J.Physiol.*, 26, 177-187, 1976.
- 10) Depocas, F. and Roberts, M.: Body glucose as fuel thermogenesis in the white rat exposed to cold, *Am. J. Physiol.* 199, 1051-1055,

1960.

- 11) LeBlanc, J.: Effects of reserpine on increased sensitivity to noradrenaline of cold-adapted animals, *J. Appl. Physiol.* 21, 661-664, 1966.
- 12) Smith, R.E. and Robests, J.C.: Thermogenesis of brown adipose tissue in cold -acclimated rats, *Am. J. Physiol.* 206, 143-148, 1964.
- 13) 中川八郎: 寒冷暴露と糖代謝, *代謝*, 7, 322-340, 1970.