

多段階負荷運動時の外耳道温の変化

小原 繁, 荒木 秀夫, 林 美代子*

Changes in temperature of external auditory canal in stepwise loaded exercise

Shigeru OBARA, Hideo ARAKI, and Miyoko HAYASHI

Relationship between temperature of external auditory canal (T_e) and work rate (W), oxygen intake (VO_2), heart rate (HR), and blood lactate concentration (La), which were obtained during pedalling exercise with stepwise incremental load method, were examined in twenty healthy male students. The first load was 30 watts and then load was increased by 30 watts every 3 minutes until 240 watts as a maximal load. T_e was measured at a place of about 1.5 cm inside of external auditory canal. VO_2 , HR , and La were determined during last 30 seconds in each load. T_e was almost constant at the loads from the first to 3rd-5th load, and after that increased rapidly. This showed a breaking point in the relations between T_e and W , VO_2 , and HR . The mean values of W , VO_2 , and HR at the breaking point were 94.5 (SD, 24.38) watts, 19.1 (3.14) ml/kg/min, and 109.9 (10.82) beats/min, respectively. However, there was a significant positive relationship between T_e and La . These results indicated that some metabolites like La and CO_2 , which relate to blood vessel dilatation, will affect on the change in T_e during exercise.

I. はじめに

運動に伴い体温が上昇することはよく知られた事実である¹⁾。筋収縮により熱が発生するために運動を持続させるためには体温調節機構をうまく働かせることが重要となってくる。このような点から運動の深部体温や皮膚温を測定

し体液や血流の調節機構を検討した報告が多く見られる^{3,6,8,9})。体温調節の中樞は視床下部にあることや脳全体の温度を代表させるという意味も含めて鼓膜温の測定をすることがある。鼓膜温を測定するためには温度測定用のセンサーを鼓膜に接触するぐらい近くに留置する必要があるが、運動時には体動もあることから鼓膜の極近くにセンサーを留置すると痛みを感じて被検者が不安を持つことになる。この点を避けるために鼓膜から少し離れたところでの外耳道温を測定することが有効であると考えられる。鼓膜温と外耳道温との関係を検討した報告を我々は知らないが、両温度はほぼ近似すると予想される。

脳内温度は筋での熱発生量と皮膚を中心とした熱放散量そして脳血流量に作用されると考えられるが、脳血流量は運動により若干増加するがほぼ一定に保たれると考えられている⁴)。このような血流調節を受ける脳内での温度の変化を捉えることは運動実施においても貴重な情報になると考えられる。よって本研究の目的は、サイクルエルゴメータ運動での負荷を30ワットづつ増加させるような多段階負荷において外耳道温がどのような変動を示すのかを検討するものである。

II. 実験方法

1. 被検者

被検者は健康な男子大学生20名である。被検者の年齢、身長、体重、および Body Mass Index (BMI) の平均値 (標準偏差) は、それぞれ19.9 (1.12) 歳, 171.4 (4.85) cm, 63.6 (6.31) kg, 21.6 (1.89) であった。また最大酸素摂取量 (心拍数と酸素摂取量の関係より推定) の平均値 (標準偏差) は47.1 (5.59) ml/kg/分であった。これらの被検者について、運動時の心拍数、酸素摂取量、血中乳酸濃度および外耳道温を測定した。実験は午後からとし、測定開始予定の3時間前には食事を終え、また食後はできるだけ安静状態をとるように指示した。なお被検者には事前に実験目的と内容を詳しく説明し、同意を得た。

2. 運動負荷法

運動として電気制動式サイクルエルゴメーターによるペダリング運動を実施した。運動負荷として漸増負荷法を用い、3分間安静座位後、最初に30ワットの運動を3分間行った。その後も連続的に3分間隔で30ワットづつ負荷を増加させ、被検者が止めたいと意志表示するまで行った。

3. 測定項目及び方法

心電図を胸部双極誘導で連続的に記録し、心拍数を心拍数モニターで常時監視した。血中乳酸濃度は各負荷における血圧測定終了後、すぐ指尖に採血用針を刺し、毛細管に約40 μ lの血液を採集して直ちにラクテートアナライザー (YSI, model 23L) で分析した。酸素摂取量は被検者に呼気マスクを装着させ、呼吸代謝モニター (エアロモニター, AE-10) により、ミクシング法により30秒間隔で運動終了まで連続的に測定した。なお測定開始前に毎回標準ガスによる分析装置の調整を行った。心拍数と酸素摂取量の回帰式を求め、

年齢から最大心拍数を推定してそれに対応する酸素摂取量を最大酸素摂取量とした。外耳道温は直径2mm, 長さ5mmのサーミスターを被検者自身で外耳に挿入し, 少なくとも外耳口より1.5 cm内側に入っているのを確認した上で, サーミスターの固定と外気が外耳道部へ入らないようにするために綿で外耳道に栓をした。サーミスターをデジタルの温度測定器 (Digital Thermometer D226, Technol Seven) に接続し, 0.1℃の単位で負荷の切り替わる直前に3分毎に読みとった。

Ⅲ. 結果

外耳道温は初めの数段階の負荷では, 仕事量の増加にも関わらずほぼ一定のレベルを維持し, ある水準の負荷に達してから上昇した。すなわち外耳道温にブレイキングポイントが存在することがわかった。その例を図1に示した。しか

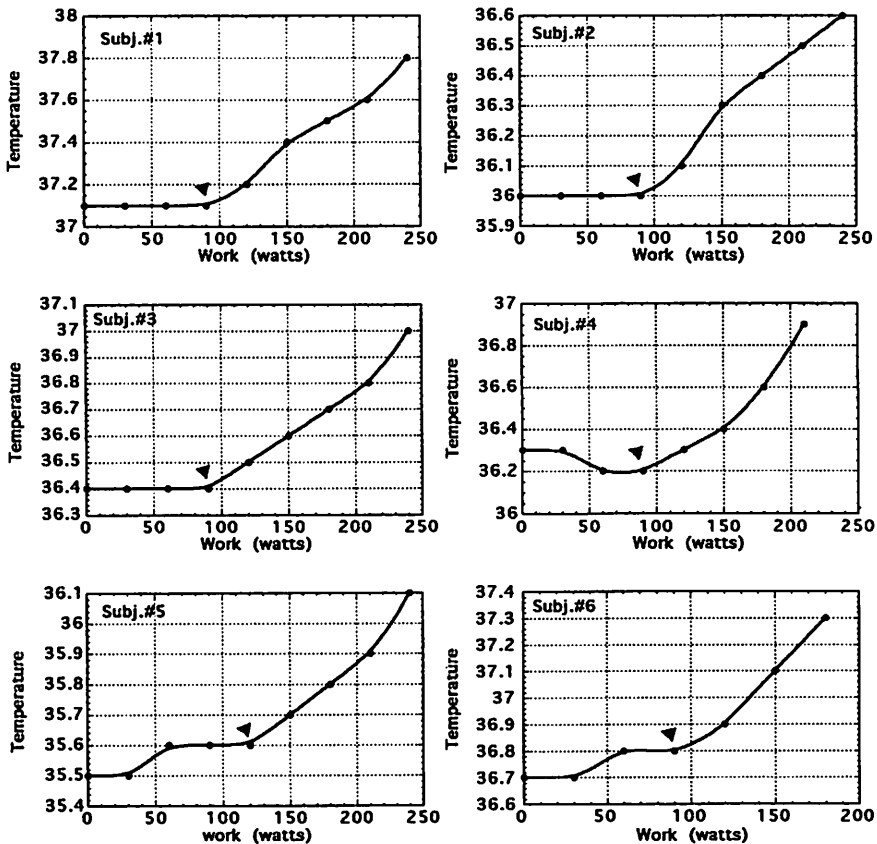


図1 仕事量と外耳道温の関係

Subj.#1-3 は一定温度から急激に温度上昇を示すタイプである。Subj.#2 は温度が一旦低下してから急激に温度上昇を示すタイプである。Subj.#5, 6 は二段階の温度上昇を示すタイプである。▼印はブレイキングポイントを示している。

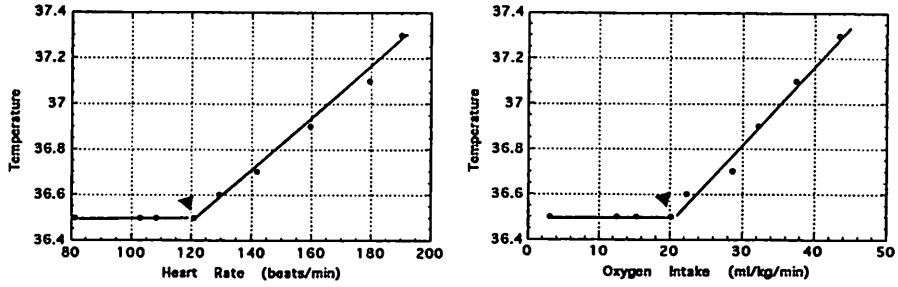


図2 心拍数および酸素摂取量と外耳道温の関係

心拍数(左図)と酸素摂取量(右図)に対する外耳道温の変化の一例を示した。▼印はブレイキングポイントを示している。

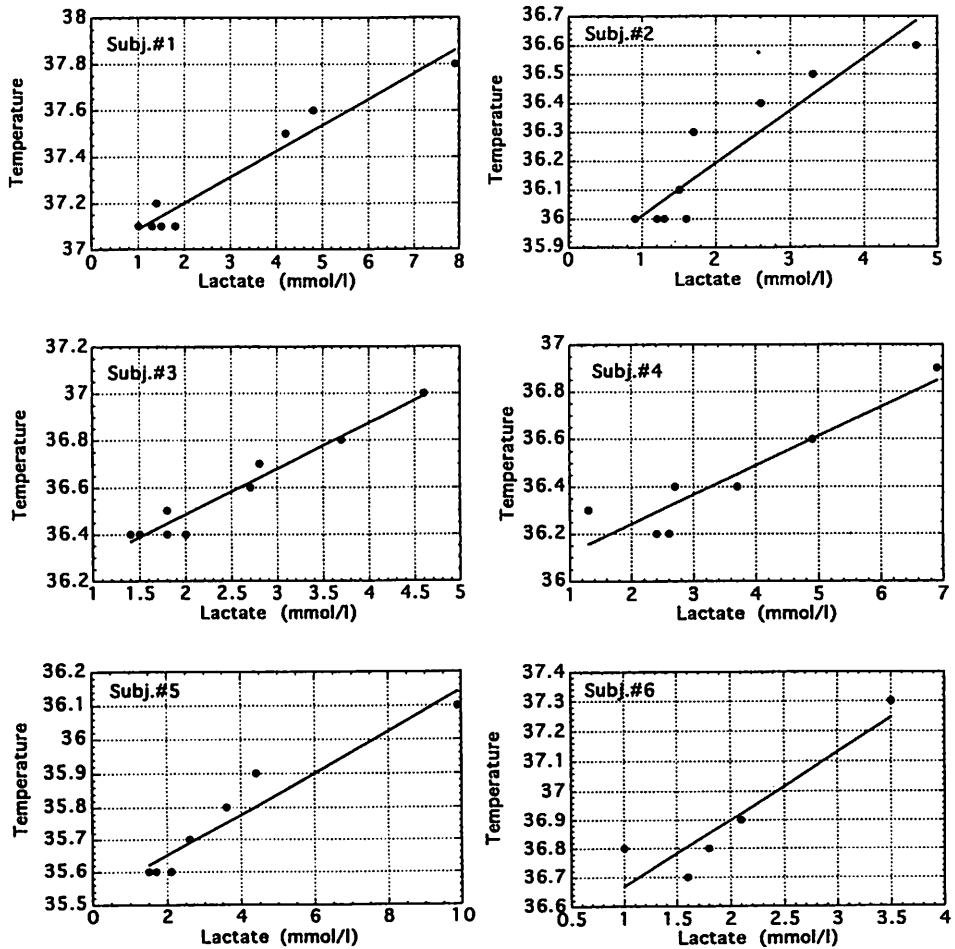


図3 血中乳酸濃度と外耳道温の関係

血中乳酸濃度と外耳道温の関係はいずれも有意な ($p < .05$) 相関を示した。図中のSubj.#1-6は図1でのSubj.#1-6と同じ被検者である。

し、被検者によっては一旦外耳道温は低下した後上昇し始める例（図1のSubj. # 4）や二段階の上昇を示す例（図1のSubj. # 5, 6）もあり判定基準として3点が連続して上昇傾向を示す最初のポイントをプレイキングポイントとした。そのポイントが出現する仕事量は20名の平均で94.5 (SD; 24.38) ワットであった。心拍数や酸素摂取量と外耳道温との関係をもっても仕事量との関係と同様にプレイキングポイントの存在が見られた（図2参照）。プレイキングポイントの仕事量での酸素摂取量と心拍数はそれぞれ、19.1 (3.14) ml/kg/分と109.9 (10.82) 拍/分であった。この時の酸素摂取水準は最大酸素摂取量の40.6 (7.87) %であった。しかし、外耳道温と血中乳酸濃度との関係を見ると2名はプレイキングポイントの存在を示しているが、18名は有意な正の直線関係を示した（図3）。尚、プレイキングポイントを示したときの負荷での血中乳酸濃度は20名の平均で1.5 (0.42) mMであった。

IV. 考 察

一般に深部体温を計測する場合には直腸温、食道温あるいは鼓膜温で代表させることが多いが、本実験では被検者の快適さや安全性を考慮して外耳道温を計測した。White and Cabanac⁹⁾は男子8名の被検者を対象に60ワットで5分間の運動中は鼓膜温は一定であるが、続いて100ワットに負荷を高めると鼓膜温の上昇が始まることを示している。そしてこの二人の研究者は運動時ではないが、温水中での換気量の変動を調べその報告²⁾の中で Core temperature thresholds という言葉を使っている。本研究で得られた外耳道温の上昇を示すプレイキングポイントを thresholds と呼べるかは疑問であるのでプレイキングポイントという用語を用いたが、このプレイキングポイントでの仕事量は、小さい場合で60ワットで、最大では150ワットであり、平均で94.5ワットであった。White and Cabanac⁹⁾の報告と本研究の結果から外耳道温のプレイキングポイントは平均して90から100ワット付近にあると考えられる。

このプレイキングポイントが生理学的にどのような意味を持つのかということは重要な点である。外耳道温が鼓膜温とどの程度近似するかという事についてそれを検討するデータを我々は持っていない。しかし、本研究での外耳道での計測部位が外耳口から内部へ約1.5 cm、鼓膜から約1 cm離れた点であり、外耳口には空気の移動を起こさないように綿で栓をしたことからほぼ鼓膜温に近い温度を得ていると考えている。もっともこの約1 cmの距離の差がプレイキングポイントに影響している可能性は十分に考えられる。ただし、その影響はプレイキングポイントの存在を否定するものではなく、約1 cmの距離の差がプレイキングポイントでの仕事量に影響し、鼓膜温で決定した場合は温度上昇がはやく現れ、外耳道温での場合より仕事量が小さくなると予想される。

プレイキングポイントでの仕事量における血中乳酸濃度を個人毎にみると平均で1.5 mMで、2 mM以上を示したのは2人で一人は2.1 mM、もう一人は2.6 mMであった。これはプレイキングポイントの出現がおおよそ乳酸閾値よ

りも低いところで起こっており、酸素摂取量は平均で40.5%VO₂maxであることからかなり低い運動強度において見られることが窺える。

各被検者毎にみて外耳道温と血中乳酸濃度との間に正の相関があったという事は興味ある点である。作業筋では筋収縮開始と共に筋肉内の温度が徐々に上昇し、その筋温は血流を通じて全身に熱を配分することになる。一方で主に皮膚血流の増加により熱の放散が促進され、熱の産生と放散の差が体温として現れることになる。外耳道温の急激な上昇は外耳道部分を通過する血液温度の高い動脈の血流量増加によって引き起こされると考えられるので、血中乳酸の増加と共に外耳道温が上昇するという事は、脳血流が間接的あるいは直接的に血中乳酸濃度の影響を受けていることを示唆している。脳の血流量は外的な影響を強く受けず、ほぼ一定に保たれるが、血中炭酸ガス濃度の上昇により血管拡張を起し脳血流量は増加することが知られている⁴⁾。このような点から本研究で用いたペダリング運動の場合はかなり軽い強度では脳内温度はほぼ一定に保たれるが、少し運動強度が高まってくると血中乳酸の増加と共に血中炭酸ガスも上昇し、脳血管拡張により脳血流量が増加する。それが脳内温度の急激な上昇の原因になっていると考えられる。そのプレイキングポイントを仕事量で示せば平均で95ワットであり、血中乳酸濃度で示せば約1.5mMであったということになる。本研究では血中炭酸ガス濃度については測定していないが、血中乳酸濃度と血中炭酸ガス濃度とは比例して変動することが知られている¹⁰⁾。このプレイキングポイントが、乳酸閾値⁷⁾やダブルプロダクト⁵⁾のプレイキングポイントのように運動処方上利用価値の高い指標になり得るのか、あるいは生理学的な研究における利用価値があるのか、今後検討していく必要がある。

V. まとめ

サイクルエルゴメータによる多段階漸増負荷法による運動中の外耳道温を測定し、仕事量、酸素摂取量、心拍数および血中乳酸濃度との関係を検討した。被検者は男子大学生20名である。負荷は第一段目を30ワットとし、以降30ワットづつ最大で240ワットまで3分間隔で増加させた。外耳道温は外耳口から約1.5 cm内側で計測した。酸素摂取量と心拍数は各負荷の最後の30秒間の測定結果を各負荷での値として用いた。血中乳酸濃度は各負荷の3分目指先で採集した血液から得た。その結果、仕事量、酸素摂取量および心拍数に対して外耳道温はプレイキングポイントを持つことが明らかになった。そのポイントでの仕事量は平均94.5ワットで、その時の酸素摂取量と心拍数はそれぞれ19.1ml/kg/分(40.6%VO₂max)と109.9拍/分出会った。外耳道温と血中乳酸濃度は正の相関を示した。これらの結果は脳内の温度はかなり軽い強度の運動ではほぼ一定であるが、若干運動強度が高まったところで上昇を始めることを示し、この現象には乳酸など代謝性の血管拡張作用をもつ物質が関連していることが窺われた。

文 献

- 1) Astrand, P-O. and K. Rodahl (1976) 運動生理学 (朝比奈一男監訳, 浅野勝己 訳), 大修館書店, 東京, pp.371-407
- 2) Cabanac, M. and M.D. White (1995) Core temperature thresholds for hyperpnea during passive hyperthermia in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 71: 71-76
- 3) Hirashita, M., O. Shido, and M. Tanabe (1992) Blood flow through the ophthalmic veins during exercise in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 64: 92-97
- 4) 入沢 宏 (1980) 生理学 (中馬 一郎編), 日本医事新報社, 東京, pp.325-326
- 5) Kiyonaga A., Brubaker, P. H., Tanaka, H., Matrazzo, B., Pollock, W. E., Shindo, M., and Miller, H. S. JR.. (1995), Determination of ventilatory threshold using double product during ramp treadmill testing of cardiac patients. Proceedings of FISU/CESU conference. The 18th Universiade 1995 Fukuoka, 456- 457.
- 6) Mack, G.W., H. Nose, A. Takamata, T. Okuno, and T. Morimoto (1994) Influence of exercise intensity and plasma volume on active cutaneous vasodilation in humans. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 26 (2), 209-216
- 7) Myers, M., D. Walsh, N. Buchanan, P. McAuley, E. Bowes, and V. Froelicher (1994) Increase in blood lactate during ramp exercise: comparison of continuous and threshold models. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 26 (11), 1413-1419
- 8) Nishiyasu, T, X. Shi, C.M. Gillen, G.W. Mack, and E.R. Nadel (1992) Comparison of the forearm and calf blood flow response to thermal stress during dynamic exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 24 (2), 213-217
- 9) White, M. D. and Cabanac, M. (1995) Physical dilatation of the nostrils lowers the thermal strain of exercising humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 70: 200-206
- 10) 吉田敬義 (1993) 運動の指標としてのAT, LT, OBLAの持つ意味. *体力科学* 42, 406-414

