

## 60 分間ペダリング運動時の外耳道温と局所発汗量の変動

岡 孝子\* 小原 繁\*\*

### Changes in temperature of external auditory canal and sweat rate during 60-min pedaling exercise

Takako Oka\* and Shigeru Obara\*\*

\*University Hospital,

\*\*Exercise Physiology and Prescription,  
Faculty of Integrated Arts and Sciences,  
The University of Tokushima

### Abstract

Thermoregulation during 60 minutes low and high intensity pedaling exercises and in recoveries of 60 minutes was discussed with the data of external auditory canal temperature (ear temperature) and skin sweating rate. The intensities of exercise were 44%VO<sub>2</sub>max as a low intensity exercise and 73%VO<sub>2</sub>max as a high intensity exercise. The subjects were 8 healthy males. The all subjects performed 60-min low intensity exercise perfectly; however, three subjects quitted the high intensity exercise at 27-40 minutes because of fatigue. Oxygen intake and blood lactate were measured by every 15 minutes, ear temperature was measured by every 5 minutes, and skin sweating rate was measured by every 10 minutes during exercise and in recovery. The room temperature was 24.3±1.8°C (mean±SD), and the humidity was 60.4±7.4%. The ear temperature elevated within 1°C in low intensity exercise, and it was within 2.5°C in high intensity exercise. The sweating rate was 20~160g/ml/min in low intensity exercise, and it was 400g/ml/min as the highest value in high intensity exercise. There was an individual specificity in thermoregulation during exercise.

---

\* 徳島大学大学院 人間・自然環境研究科 (現在: 徳島大学医学部附属病院)

\*\* 徳島大学 総合科学部 人間社会学科 行動科学 運動処方論研究室

ヒトはかなり広い環境温度の変化に対して、身体内部の温度（深部体温）をきわめて狭い温度範囲（36.0～37.0℃）に維持している。体温を一定に保つということは、体内の熱産生量と熱放散量がほぼ同じであるということである。身体内での熱産生は、物質代謝としての化学反応におけるエネルギーに由来するもので、骨格筋と肝臓で1日の熱産生量の8割以上を産生している。熱の放散は、輻射、伝導、対流であるが、生物の場合は水分の蒸発による気化熱としての放散もある。これらの体温への作用は環境温度、湿度、風速などの気象条件と衣服条件によって異なってくる。さらに生理的条件としての発汗量や皮膚血流量が体温調節に大きく影響している。

運動や身体活動によって深部体温は上昇するが、これは活動筋での代謝量が増大し、熱の発生を伴い、その熱産生量が熱放散量を上まわるためである。活動筋で生じた熱は血液循環により全身に運ばれるが、これによって体温中枢のある視床下部の温度も上昇する。そして全身的な体温調節反応が起こる。低・中強度の運動では、運動によって皮膚血流量は増大し、活動筋で産生された熱は皮膚から放散される。それでも体温が上昇する場合は、発汗活動も活発になる。運動時には熱放散の最も有効な方法である蒸発の割合が多くなる。汗はエクリン腺から分泌されるが、この腺の数や大きさは皮膚の部位や個人により差があり、発汗能力には個人差が大きいことが知られている。また菅原と田井村<sup>1)</sup>は、寒冷暴露下での体温調節能力は最大酸素摂取量に影響されることを報告しており、体力水準も関与していることが示唆されている。

運動時の体温の上昇は41～42度が上限であると報告されている。この温度に達するまでに前述のような様々な体温調節機構が働いているが、これらの機構の関与には運動のタイプや個人の体力水準によって異なるために、

様々な条件での検討が必要である。よって本研究では軽強度と高強度における60分間のサイクルエルゴメータでの運動時の外耳道温と皮膚発汗量を調べ、運動時の体温調節について検討した。

## 方 法

### 1. 被検者

被検者は中学時代から継続して運動をおこなっている健康な男子8名であった。被検者の身体的特性を表1に示した。なお、最大下負荷テストと最大負荷テストを本実験とは別な日におこない、その時測定された最大酸素摂取量にもとづいて、指定運動強度に相当するサイクルエルゴメータの負荷（仕事量）を決定した。

表1 被検者の身体的特性とスポーツ種目

被検者	年 齢 身 長 体 重 最大酸素摂取量				スポーツ種目
	(才)	(cm)	(kg)	(ml/kg/min)	
A	22	173	59.2	41.9	水 泳
B	23	176	63.5	52.2	陸上(跳躍)
C	22	168	65.4	50.6	テニス
D	21	172	59.5	47.9	水 泳
E	22	168	49.9	53.7	陸上(短走)
F	24	173	65.0	44.2	水 泳
G	49	171	71.5	39.1	陸上(長走)
H	21	174	56.0	56.6	陸上(長走)
平均	25.5	171.9	61.3	48.3	
標準偏差	9.5	2.8	6.6	6.1	

### 2. 環境条件

実験室内はエアコンディショナーで室温を一定に保つように設定されていたが、実験日によって多少の違いが見られた。実験室の気温は24.3±1.8℃（平均±SD）、相対湿度は60.4±7.4%であった。

### 3. 実験手順

被検者は上半身裸体で、ランニング用ズボンとシューズを着用して、サイクルエルゴメータのペダリングをおこなった。実験前約30分の安静時間に体温測定用センサー、心拍数測定装置、発汗量測定カプセル、呼吸マスクの装着をおこなった。運動強度は低強度運動

## 60分間ペダリング運動時の外耳道音と局所発汗量の変動

として最大酸素摂取量の45% (45% VO<sub>2</sub>max) と、高強度運動として70% (70% VO<sub>2</sub>max) の2種類である。運動時間は60分間で、運動終了後さらに60分間の回復期の測定をおこなった。実験は5月から11月にかけておこなった。被検者には前日の夜9時から10時の間に食事をとった後、水以外は摂取しないように指導した。実験時間帯は10時から13時の間であったので、実験開始時には12時から13時間の絶食状態であった。

### 4. 測定項目

#### 1) 外耳道温

外耳道温の測定において、外気の遮断とサーミスターの固定のために、耳栓として円錐状に加工した発泡スチロールに穴をあけ、先端から温度センサー部分を出し、右外耳道に挿入留置した。そして実験途中で脱落しないように接着テープで固定した。温度の測定にはデジタルサーモメータ (TECHNOLSEVEN, D226) を用いて、5分毎に記録した。

#### 2) 局所発汗量

局所発汗量を調べるために左胸部でカプセル濾紙法により測定した。この方法は、測定部位を気密なカプセルで覆い、その中に濾紙を置き、汗を吸着させる方法である。

大原法を参考にして、独自に発汗カプセルを作製した。ディスポーザブルの20ccの注射器外筒 (内径2.1cm, 3.46 cm<sup>2</sup>) をつば側約1cmで切断したものをカプセル本体にした。カプセルの蓋はディスポーザブルの50ccの注射器内筒を分解し、取り外したゴムを用いた。

カプセル濾紙法はカプセルを固定し、濾紙だけを交換するので経時的な測定が可能であり、発汗の短時間の微細な変化はとらえることはできないが、特別な機器を必要とするカプセル換気法に比べて簡便であるので本研究で採用した。測定では10分間隔でカプセル内の濾紙を眼科用セッシンを用いて交換し、取り出した濾紙は事前に重量計測をした容器に詰

め、直ちにラップし全体の重量を計測した。そして汗が吸着する前後の重量差から単位面積あたりの重量 (mg/cm<sup>2</sup>/10分) を求めた。

#### 3) 体重変動

総発汗量の参考資料として、ランニング用ズボンを着衣した状態で体重減少量を実験前後の体重測定から算出した。

#### 4) 心拍数

心拍数はハートレイトモニター (Sport Tester, POLAR 社製, PE-3000) で15秒間隔で記録し、そのデータから他の測定項目の時間帯 (5分間隔) に合わせて選定した。

#### 5) 酸素摂取量

運動中の酸素摂取量を調べるためにガスマスクを装着させ、15分毎に1分間の呼気ガスをダグラスバックに採集した。ダグラスバックから30mlのサンプルガスを取り出し、ショランダー微量ガス分析器で酸素と二酸化炭素の濃度を計測した。またダグラスバック内の全呼気量を DRY TEST GAS METER (SHINAGAWA SEIKI 社製, Model DC-5) で測定した。

#### 6) 血中乳酸濃度

指先から採血した血液を LACTATE ANALYZER (YSI 社製, Model 23-L) で分析して血中乳酸濃度を求めた。

## 結 果

### 1. 低強度運動時の変化

#### 1) 心拍数

心拍数の変動を図1に示したが、安静時の平均 (±SD) で 64.0±8.9 拍/分、運動開始15分目で 103.7±7.8 拍/分、その後運動中にわずかに増加傾向を示し、運動終了時には 114.4±10.0 拍/分であった。運動終了後すみやかに回復し、回復60分では 66.1±9.2 拍/分であった。

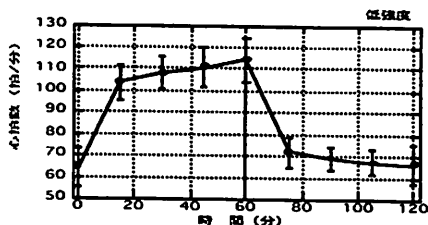


図1 低強度運動時の心拍数の変動

## 2) 酸素摂取量

酸素摂取量は安静時の平均で  $0.25 \pm 0.03 \ell$  /分, 運動開始 15 分目で  $1.26 \pm 0.15 \ell$  /分, その後運動中はほぼ一定で, 運動終了時は  $1.30 \pm 0.15 \ell$  /分であった。運動終了後すみやかに回復し, 回復 60 分では  $0.26 \pm 0.04 \ell$  /分であった。この値は  $43.8 \pm 2.7\%VO_{2max}$  であった。それを図2に示した。

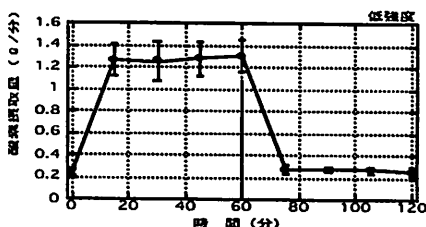


図2 低強度運動時の酸素摂取量の変動

## 3) 血中乳酸濃度

血中乳酸濃度は安静時が  $0.6 \pm 0.2mM$  で, 運動開始 15 分目で  $0.8 \pm 0.3mM$ , 運動終了時で  $0.7 \pm 0.2mM$  とほぼ一定の値を示した。回復 60 分では  $0.5 \pm 0.1mM$  であった。それを図3に示した。

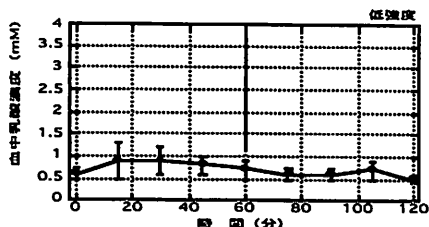


図3 低強度運動時の血中乳酸濃度の変動

## 4) 外耳道温

外耳道温の測定は6名(被検者A, C, D, E, G, H)についておこなった。外耳道温の安静時からの変化量を図4に示したが, 安静時の外耳道温は  $34.0 \sim 36.3^{\circ}C$  で, 被検者間で温度の差が見られた。運動開始後に明らかな初期降下が見られたのは2名(被検者A, H)で, 下降の度合は  $0.1 \sim 0.3^{\circ}C$  であった。この2名は運動開始後 15 分目で安静時の温度に回復していた。被検者1名は運動開始直後から上昇傾向を示したが, 残りの被検者4名は運動開始後5分以降に温度の上昇傾向が見られた。この上昇の程度は運動中 30 分目までの前半が大きく, 後半は小さかった。運動終了時の外耳道温は安静時より平均で  $0.5 \pm 0.3^{\circ}C$  高く, 個人毎の温度変化を見ても, 被検者DとEが  $0.9^{\circ}C$  と最も大きく, 安静値と比べて全員  $1^{\circ}C$  以内の上昇であった。被検者Aは  $0.1^{\circ}C$  の変動しかなかった。回復期にはほとんどの被検者が運動前の値にもどっているが, 被検者Hは運動初期に  $0.3^{\circ}C$  の降下を示した後, 運動中に安静値より  $0.7^{\circ}C$  の上昇し, 全体としての変動幅は  $1^{\circ}C$  であった。しかし, 他の被検者と異なり, 運動終了後, それほど大きな下降はみられず, 回復 60 分目でも運動前値より  $0.8^{\circ}C$  高い状態であった。

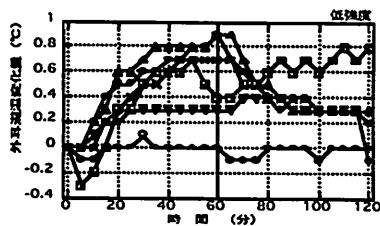


図4 低強度運動時外耳道温の変化量の変動

## 5) 局所発汗量

左胸部で計測した発汗量の測定では部分的に3名(被検者A, E, H)についてのみ, データが得られた。それらの被検者の運動時の最大値は, 被検者A, E, Hでそれぞれ,  $39.4$ ,  $156.9$ ,  $49.8 \text{ mg/cm}^2/10\text{min}$  であった。そ

60分間ペダリング運動時の外耳道音と局所発汗量の変動

れを図5に示した。

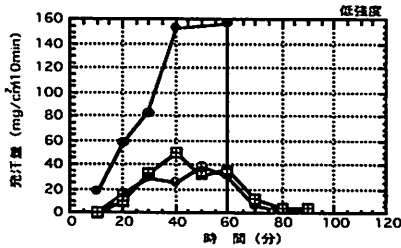


図5 低強度運動時の皮膚発汗量の変動

6) 体重減少量

体重減少量の測定方法はトレーニングパンツをはいた状態で、体重の測定をおこなったので厳密な体重変動を示しているとはいえないが、参考資料として計測した。6名の被検者の平均の体重減少量は 0.52 (0.19) kg であった。最大でも 0.8kg であった。それを表2に示した。

表2 体重減少量 (kg)

被検者	低強度運動	高強度運動
A	0.3	0.6
C	0.8	0.7
D	0.7	0.7
E	0.5	0.4
G	0.4	0.8
H	0.4	0.9
平均	0.52	0.68
標準偏差	0.19	0.17

2. 高強度運動時の変化

高強度運動では被検者8名のうち、5名が60分間完全に運動を遂行できたのに対して、3名は27分から40分で中止した。また、測定も正確にできない場面が多くあり、よって運動中のデータはサンプル数に違いがある。

1) 心拍数

心拍数は安静時の平均で 64.4±9.3 拍/分、運動開始 15 分目で 153.6±21.6 拍/分、30 分以降ほぼ一定で、運動終了時には 160.0±22.6 拍/分であった。運動終了後すみやかに回復したが、回復 60 分では 84.2±10.2 拍/分と安静値よりは高い値を示した。それを図

6に示した。

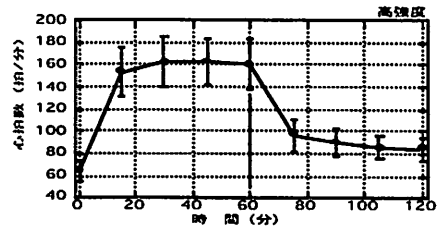


図6 高強度運動時の心拍数の変動

2) 酸素摂取量

酸素摂取量は安静時の平均で 0.24±0.02 l/分、運動開始 15 分目で 2.07±0.26 l/分、その後運動中はほぼ一定で、運動終了時は 2.14±0.26 l/分であった。運動終了後すみやかに回復し、回復 60 分では 0.26±0.03 l/分であった。この値は 73.0±3.8%VO<sub>2</sub>max であった。それを図7に示した。

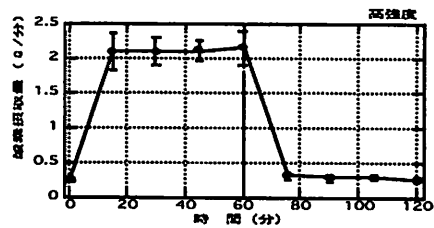


図7 高強度運動時の酸素摂取量の変動

3) 血中乳酸濃度

血中乳酸濃度は安静時が 0.6±0.2mM で、運動開始 15 分目で 4.5±1.4mM であったが、その後乳酸値の高い被検者は運動を中止したので、終了時には低下しているようにみえる。回復期は7名全員のデータの平均で示してあるが、回復 15 分で 2.2±1.2mM で、回復 60 分では 0.8±0.4mM であった。それを図8に示した。

以上の結果を見ると、高強度運動では被検者によってはかなり厳しい強度になっていたことがうかがえた。

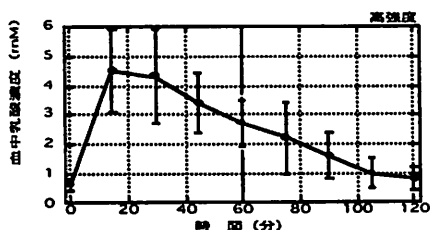


図8 高強度運動時の血中乳酸濃度の変動

4) 外耳道温

外耳道温の測定は8名についておこなった。安静時の外耳道温は 35.3~36.1℃で、被検者間で若干の温度の差が見られた。運動開始後、5分の時点で温度が降下したのは3名(被検者C, F, H)で、降下の度合は 0.1℃と小さなものであった。温度降下のみられなかった被検者のうち、運動開始5分目から温度が上昇したのは2名(被検者D, G)で、10分から上昇した被検者は3名(被検者A, B, E)であった。40分までに運動を終了した3名の外耳道温は 37.6~37.8℃で、上昇の度合は 1.7~2.3℃であった。60分間運動を続けた5名は運動前半の30分での上昇が、0.5~1.6℃で、後半30分の上昇は 0.3~0.9℃であり、運動前半の温度上昇が大きかった。回復期の温度変化をみると運動途中で止めた2名は運動前値にもどっているが、60分間運動を持続した4名(1名は途中で記録とれず)と27分で止めた1人は回復60分目でも運動前値には回復していなかった。それを図9に示した。

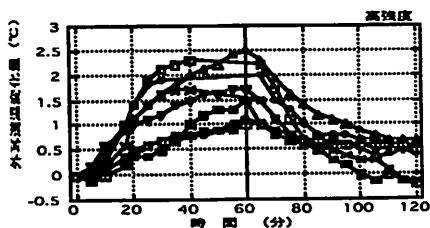


図9 高強度運動時外耳道温の変化量の変動

5) 局所発汗量

左胸部で計測した発汗量の測定では部分的に4名(被検者A, C, E, H)についてのみ、データが得られた。それらの被検者の運動時の最大値は、被検者Eがもっとも大きく、398 mg/cm<sup>2</sup>/10minであった。次に被検者Hが大きく、296 mg/cm<sup>2</sup>/10minであった。被検者AとCは 102 と 109 mg/cm<sup>2</sup>/10minであった。回復期は4名とも20分目で発汗量はほとんど安静値近くになっている。それを図10に示した。

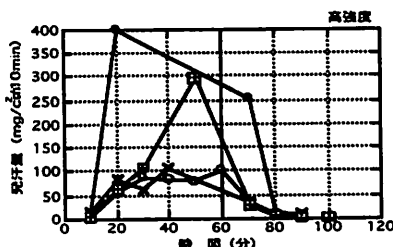


図10 高強度運動時の皮膚発汗量の変動

6) 体重減少量

体重減少量の測定方法は低強度運動の項で述べたとおりで、その結果を表2に示したが、6名の被検者の平均の体重減少量は 0.68 (0.17) kgであった。最大でも 0.9kgであった。

考 察

体温は日内変動があり、朝方に最低になることが知られているので、本実験では運動の開始時間を午前10時30分頃と一定にした。

軽運動では平均で 44%VO<sub>2</sub>max となっており全員60分間の運動を遂行できた。心拍数は平均で 120 拍/分までしか上昇していず、また血中乳酸濃度をみても 1mM 前後であり、身体に大きな負荷が掛かっていないことがわかる。しかし、高強度運動では個人によって、75%VO<sub>2</sub>max 以上になる例もあり、3人は27分から40分の間で運動を中止せざるを得なかった。このような運動条件での外耳道温と発汗

量の変動について検討する。

体熱の産生は摂取された栄養素が体内の組織、細胞で代謝され、エネルギー発生に伴う熱発生によっておこなわれる。このエネルギー発生量の20～25%が仕事、運動のエネルギーとなり、残りの75～80%が熱に変換され、体温の維持に使われる。通常、肝臓、腎臓、心臓など常に働いている器官は代謝が盛んであり、熱産生量が多い。一方、安静時には骨格筋や皮膚などは熱産生量は少ないが、骨格筋は量が多いので1日の熱産生量の約60%を占める。運動時には活動筋による熱産生量が急増し、最大運動時には全産熱量の80%以上を占めるようになる。

体熱放散は身体各組織で生産された体熱がその部位を流れる血液に伝えられ、温められた血液が全身を循環して熱を各部位に配分すると共に、主として皮膚を流れるときに体外へ熱を放散している。その手段は輻射、伝導、対流、そして水分(汗)の蒸発による。身体運動により活動筋で生じた熱は血流によって全身に運ばれ、身体中枢の体温も上昇し、体温中枢のある視床下部の温度が上昇すると、皮膚の血管拡張がおこり、皮膚への血流量の増加がみられるようになる。このシステムで熱放散が促進される。また肺換気量も増大し、このための気道からの熱放散も生じる。しかし、これらの方法で体熱の放散が不十分で体温上昇が見られる場合には発汗による熱放散のシステムも働いてくる。発汗には有効発汗と無効発汗があり、有効発汗では体表面から1gにつき580calの気化熱を奪い、体熱を放散させると考えられる<sup>2)</sup>。一方、無効発汗とは多量の発汗の場合で蒸発をせずに体表面から滴下する汗であり、これには体温調節の作用はない。このことから高温状態でも親水性と通気性のよい衣服を身につけて、それに染み込んだ汗を蒸発させて、気化熱として体温を奪わせることが高温対策として重要である

ことが指摘されている<sup>3)</sup>。

体温調節中枢である視床下部の温度は動脈血の温度に近く、食道の温度が動脈温にきわめて近いことから直腸温、口内温、腋下温に替わり最近では心臓の位置で測定した食道温を体温の指標として用いることが多い。しかし、食道温の測定は容易ではない。内頸動脈の血流の一部は鼓膜と視床下部に供給しており、視床下部の近くにある鼓膜の温度が視床下部の温度を反映すると考えられることから、鼓膜温の測定もなされている。内野ら<sup>4)</sup>が開発した高感度鼓膜温測定装置は運動時にも測定可能な設計になっているが、この方法は熟練した人でないと鼓膜に接触するようにサーミスターを設置することが困難である。このような理由から本研究ではサーミスターを鼓膜に近い外耳道に設置し、外耳道温を連続的に記録する方法を採用した。測定にあたっては外気の流入を無くすためと、サーミスターを固定する目的で、発泡スチロールを用いて耳栓を作製した。そして外耳道温を深部体温として測定した。

運動初期の深部体温が一過性に低下することはこれまでも多くの報告がなされている<sup>4) 5) 6) 7) 8)</sup>。増田<sup>7)</sup>は運動の開始とともに鼓膜温が一過性に低下し、被検者や運動強度に関係なく発現すると報告している。低下の程度は0.03～0.09℃で、低下した鼓膜温が上昇を開始するまでの潜時は4～6分であるとしている。本実験での外耳道温は低強度と高強度の運動において、開始後すぐに上昇した。開始後5分までは変動がなかった、開始後5分までは低下し、その後上昇した、という3つのグループに分けられた。仰臥位での軽運動では皮膚血流は減少するが<sup>9)</sup>、立位の運動では減少は見られない<sup>10)</sup>ことが報告されているが、本実験の被検者では運動に伴う交感神経の緊張の度合いが異なっていたために運動開始直後の皮膚血流の変動に個人差があり、そ

れが外耳道温の3つの変動パターンとして現れたのかもしれない。

発汗量については、測定可能であった被検者が少なく、細部についての検討はできない。発汗量は個人の特性、運動強度そして環境条件によってかわるが、軽運動で  $10 \text{ g/m}^2/\text{分}$  という報告もある<sup>11)</sup>。本実験での値は  $160\sim 20 \text{ mg/cm}^2/10\text{min}$  であったので、単位をそろえると、 $160\sim 20 \text{ g/m}^2/\text{分}$  となり、個人差のあることが伺える。運動による体温上昇での発汗は主にエクリン腺からの分泌によるところが大きい、人体の汗腺の総数には個人差があり、200万から500万とも述べられている。またその中には不能動汗腺と能動汗腺があり、日本人では平均して230万が能動汗腺であると言われている<sup>12)</sup>。本実験の高強度運動では  $400 \text{ g/m}^2/\text{分}$  に達する例もあった。体重減少を見ると高強度運動でも  $1 \text{ kg}$  以内であるが、これは運動着に染み込んだ汗の量も含まれているので、実際にはもっと大きな値だったと思われる。発汗量は  $400 \text{ g/m}^2/\text{分}$  のような多量の汗を出した場合には体内の水分を維持するために発汗を抑制するので、運動時の発汗量を検討する場合には連続的な測定が必要であるが、今回は測定技術の問題もあり、それができなかった。

発汗などによる体温調節の結果としての外耳道温を運動終了時点でみると、低強度運動では  $1^\circ\text{C}$  以内、高強度運動では  $2.5^\circ\text{C}$  以内の上昇であった。3時間近い運動であるマラソンでは体温が  $3^\circ\text{C}$  以上上昇し、 $40^\circ\text{C}$  を超えることもある<sup>13)</sup>。本実験では60分の時点で最大で  $2.5^\circ\text{C}$  であるので決して上昇度が小さいとはいえない。70%VO<sub>2</sub>max を超える強度の場合は、室内で室温を  $25\sim 26^\circ\text{C}$  に保っていても外耳道温は  $39^\circ\text{C}$  を超えることがあり得るので、脱水症も含めて注意を払う必要がある。しかし、44%VO<sub>2</sub>max 強度では、外耳道温の上昇は  $1^\circ\text{C}$  以内になっており、体温からみた過剰

負荷はないようである。

#### まとめ

健康な成人男子8名を対象にして、44% (低強度) と 73% (高強度) VO<sub>2</sub>max のサイクルエルゴメータでの60分間のペダリング運動時と60分間の回復時の外耳道温と発汗量を調べ運動時の体温調節能について検討した。低強度運動は血中乳酸濃度が平均約  $1 \text{ mM}$  で、全員60分間の運動を遂行できた。しかし、高強度運動では  $6 \text{ mM}$  まで上昇する被検者もいて3名が27~40分で運動を中断した。低強度運動では外耳道温の上昇は  $1^\circ\text{C}$  以内で、高強度運動では  $2.5^\circ\text{C}$  以内の上昇であった。発汗量は、測定できた例が少なかったが、低強度運動では  $160\sim 20 \text{ g/m}^2/\text{分}$  で、高強度運動では  $400 \text{ g/m}^2/\text{分}$  に達する例もあった。体温調節には個人差がみられ、発汗による気化熱で調節するタイプやそうでないタイプがみられた。これはおそらく皮膚血流量を増加させて調節するタイプであろう。このために同程度強度の運動でも外耳道温の上昇の程度は個人により異なっていた。発汗量を増加させて体温調節をおこなうタイプの人、脱水症状を防ぐために、衣類に汗を浸透させて蒸発させることに注意したり、従来言われているように運動途中の水分補給に配慮することが重要と考えられた。

#### 文 献

- 1) 菅原正志, 田井村明博: 最大酸素摂取量のちがいによる寒冷暴露下での体温調節反応と寒冷血管反応. 体力科学 45: 101-110, 1996
- 2) Simon, E.: 体温調節の基本法則. 体温調節のしくみ, 入来正躬 編, 文光堂: 9-18, 1995
- 3) 川原 貴: スポーツにおける熱中症. 臨床スポーツ医学 14: 735-740, 1997



60分間ペダリング運動時の外耳道音と局所発汗量の変動

- 4) 内野欽司：高感度鼓膜温測定装置と運動時の体温調節. 神奈川県立体育センターレポート 第4巻：60-66, 1977
- 5) 黒田善雄, 他：運動時における体温の動的様相. 日本体育協会スポーツ科学研究報告集(1974年度)第8巻：11-17, 1976
- 6) 近藤徳彦, 他：汗の拍出頻度よりみた安静時と運動時の発汗調節の比較. 日本生気象学会雑誌 24 (3) : 135-144, 1986
- 7) 増田 充：運動と体温. 東京慈恵会医科大学雑誌 90 : 1-15, 1975
- 8) 山崎文夫, 他：運動中の体温調節反応と心周期分画の変動との関係. 体育学研究 37 (4) : 351-364, 1992
- 9) Johnson, J.M., et al: Effect of heat stress on cutaneous vascular responses to the initiation of exercise. J. Appl. Physiol. 53: 744-749, 1982
- 10) 山崎文夫, 他：運動時の体温, 前腕発汗量及び前腕皮膚血流量の関係. 日本生気象学会雑誌 29 : 49-55, 1992
- 11) 朝山正己：運動と暑熱馴化. 臨床スポーツ医学 14 : 729-734, 1997
- 12) 中馬一郎, 中山昭雄：熱放散の調節. 生理学, 中馬一郎 編著, 日本医事新報社：461-464, 1980
- 13) 加賀谷熙彦：温度と運動. 身体運動の生理学, 猪飼道夫 編著, 杏林書院：410-421, 1973

(1999年9月14日受付, 1999年9月30日受理)

