

ヒトの運動時における産熱量に対する運動強度の影響

1. はじめに

ヒトは体内で産出した熱をほどよく周囲環境に逃がすことにより体温を一定に保ち、熱的快適性を維持している。熱的快適性は、代謝に伴う産熱量が関係する。代謝とは、生体内において外部より取り入れた食物から熱や仕事を得る化学反応であり、この代謝によりヒトの体内で生産される熱量を産熱量という。産熱量は代謝量や運動種類、運動強度により変わるが、産熱量に対する運動強度は十分に検討されていない。そこで本研究では階段登行運動時における代謝量、運動強度および産熱量に含まれる放熱量を明確にし、運動強度の影響を検討した。さらに、代謝量の筋肉の仕事への変換効率に対する運動強度への影響についても検討した。

2. 実験

実験は食後6時間経過し、安静状態を30分保った後に行った。体温測定は皮膚表面の8箇所を熱電対をテープで固定し、データロガー(GL450、GRAPHTEC)を使用して行った。発汗量は精密体重計(ISC439、METTLER TOLEDO)を使用し、運動前と運動後の体重変化を測定することにより算出した。運動時間は90sとした。

代謝量の測定にはダグラスバッグ法を用いた。まず200Lのダグラスバッグ(TK-11288、竹井機器工業)に運動中の呼吸を採取する。採取した呼吸の体積をガスメーター(DC-5A、シナガワ)により、呼吸中の酸素濃度及び二酸化炭素濃度をガス分析装置(PG-200、HORIBA)により測定した。これらの測定値を用い、式(1)より代謝量 $M[W]$ を求めた。

$$M = 5.87(0.23RQ + 0.77)V_{O_2} \cdot 60 \quad (1)$$

ここで RQ は呼吸商(= V_{CO_2}/V_{O_2})であり、 V_{O_2} および V_{CO_2} はそれぞれ酸素消費量[L/min]および二酸化炭素排出量[L/min]である。

体温が一定に保たれている時、代謝による産熱量とヒトの体外に放出される放熱量は等しくなる。そこで体外に放出される放熱量 Q_{loss} [W] は伝導伝熱、対流伝熱、放射伝熱を合わせた総合熱伝達量 H_d [W] と水分の蒸発放熱量 $E[W]$ の和より求めた。

$$Q_{loss} = H_d + E \quad (2)$$

総合熱伝達量は次式より求める。

$$H_d = \frac{1}{R_d}(T_s - T_a)A_{bd} \quad (3)$$

ここで R_d は着衣の熱抵抗値[m²°C/W]、 T_s 、 T_a は平均皮膚温度[°C]と周囲温度[°C]、 A_{bd} は体表面積[m²]である。着衣の熱抵抗値は衣服の熱抵抗を表す clo 値より式(4)により与える。

$$R_d = 0.155clo \quad (4)$$

平均皮膚温度 T_s は、ISO9886⁽¹⁾に従って、測定部位毎の面積比を考慮して算出する。水分の蒸発放熱量 E は次式より求める。

$$E = H_v \Delta m_{sw} / \Delta t \quad (5)$$

ここで H_v は水の蒸発潜熱[J/g]、 Δt は運動時間[s]である。また、 Δm_{sw} は運動時の発汗量[g]である。

階段登行においては、1段の高さ $h=0.165m/step$ の階段を登り、登行ペース v を 48steps/min から 72steps/min まで変更して行った。この時の運動強度 $W[W]$ は次式より算出した。

$$W = mgh \left(\frac{v}{60} \right) \quad (6)$$

ここで m は体重[kg]、 g は重力加速度[m/s²]である。

エネルギー変換効率 $\eta[%]$ は、運動強度 W および代謝量 M を使用し次式により算出した。

$$\eta = \frac{W}{M} \times 100 \quad (7)$$

3. 実験結果および考察

図2に総合熱伝達量と発汗による蒸発放熱量を示す。総合熱伝達量は運動強度が増加するにつれて減少している。理由として、平均皮膚温度の変化の影響は小さいが、測定日が異なり気温が変化したためである。水分の蒸発放熱量は登行ペースの増加に伴い上昇し、72steps/min の時には急激な上昇が見られる。これは、体温を一定に維持するために運動により生じた熱を汗として体外に放出する影響が大きくなったためであると考えられる。また、総合熱伝達量と蒸発放熱量を比較すると、いずれの登行ペースにおいても総合熱伝達量の方が高い値を示していたが、72steps/min の時には同程度となる結果が得られた。

図3はエネルギー変換効率を示す。本研究で対象とした階段登行においては、エネルギー変換効率は20~24%という結果になった。また、60steps/min の時にエネルギー変換効率は最大となった。このことから、この時の運動強度が被験者にとって自然のペースで階段を登っているため呼吸体積が少ないため代謝量が低くなったと思われる。

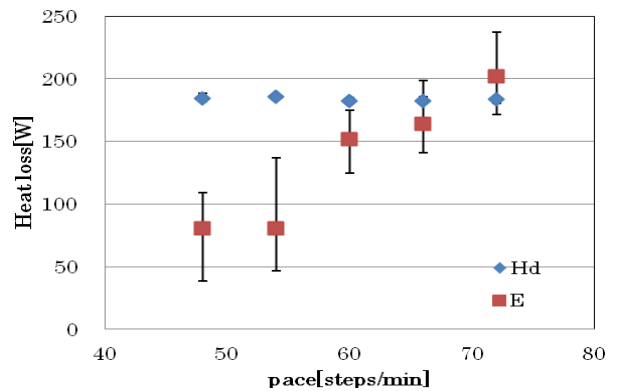


Fig. 2 Variation of heat loss with exercise pace

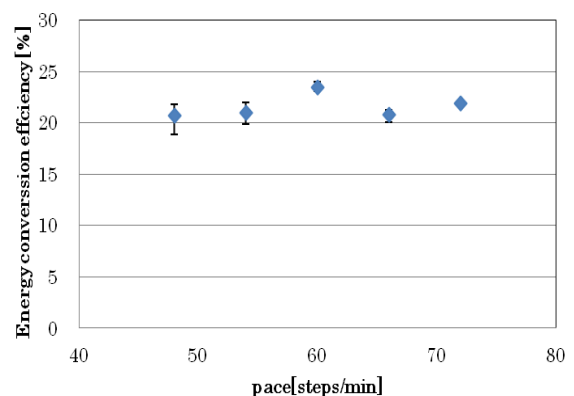


Fig. 3 Variation of energy conversion efficiency with exercise pace