

様々な運動条件におけるヒトの代謝量と産熱量の関係

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つことで、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の種類、強度により変わるが、産熱量に対する運動の種類の影響は十分に検討されていない。

そこで本研究では、上半身運動であるベンチプレス、下半身運動が主である階段登行を行い、産熱量に対する運動条件の影響を検討した。

2. 実験

本研究では階段登行およびベンチプレスの2種類に対して運動中の代謝量およびヒトの体外に放出される放熱量を測定した。測定は、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、8箇所皮膚表面に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(ISC493, METTLER TOLEDO)を使用し、運動前と運動後の体重変化より測定した。測定場所の気温はベンチプレスが21℃前後、階段登行が10℃前後で、各運動時間は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)に運動中の呼気を採取する。採取した呼気の体積をガスメータ(DC-5A, シナガワ)により、呼気中の酸素濃度およ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、産熱量はヒトの体外に放出される放熱量と等しくなる。そこで、体外に放出される放熱量 $Q_{loss}[W]$ を、伝導伝熱、対流伝熱、放射伝熱量を合わせた総合熱伝達量 $H_d[W]$ と水分の蒸発放熱量 $E[W]$ の和として求める。

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

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[m²C/W]、 T_s 、 T_a は平均皮膚温度および周囲温度[°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 に従い、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 は次式により求める。

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

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。

ベンチプレス運動においては、質量 $m_b=10kg$ のシャフトの上げ下げを、48回/min から96回/min までペースを変化して

行った。一方、階段登行においては、1段の高さ $h_s=0.165m/step$ の階段を登り、ペースを48steps/min から72steps/min まで変更して行った。

3. 実験結果および考察

図1にベンチプレスにおける放熱量を示す。総合熱伝達量は運動強度を増やしてもある程度一定であった。これは運動時に体温の変化があまり見られないためである。一方、水分の蒸発放熱量は運動強度の増加に伴い増加した。これは運動強度が増えるに連れて、発汗量も増えたためである。運動強度が増加したとき、総合熱伝達量が一定で、水分の蒸発放熱量が増加する理由は、ヒトは体温を一定に保つために、熱を汗として体外に放出するためであると考えられる。

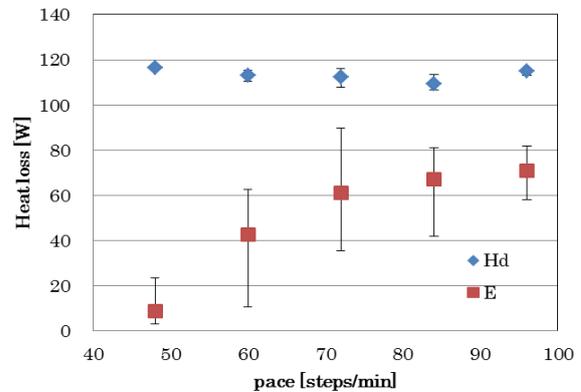


Fig. 1 Heat loss during walking upstairs

図2に階段登行における放熱量を示す。総合熱伝達量は、ベンチプレスと同様に運動強度を増加してもある程度一定であった。これも運動時に体温の変化があまり見られないためである。一方、水分の蒸発放熱量も、運動強度が増えると増加する傾向が見られた。階段登行ではベンチプレスより温度差が大きいため、総合熱伝達量の数値が大きくなったが、運動強度の増加に伴い生じた代謝による産熱を、汗として放出しているため、水分の蒸発放熱量が増加する傾向は変わらなかった。

ベンチプレスと階段登行の2つの運動の種類の違いについて比較すると、上半身運動のベンチプレスより、下半身運動の階段登行の方が運動強度、温度差が大きいため代謝量、放熱量とも大きくなった。

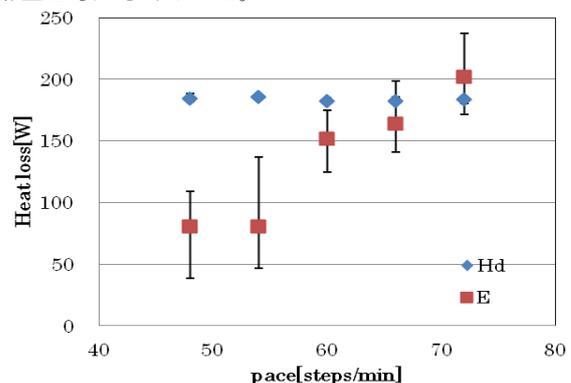


Fig. 2 Heat loss during bench press exercise