

作業対象物の身体に対する高さ と 作業強度の関係

松原周信*, 瀧本義彦**

Relationship between the relative height of work object on body and work intensity.

CHIKANOBU MATSUBARA* and YOSHIHIKO TAKIMOTO**

To investigate the difference of work intensity of varied work height, 4 male subjects performed sham pruning in the laboratory with a hatchet and a saw. A surveying pole was supposed to be a tree with branches at the height of 40, 120, and 200cm. Oxygen uptake and heart rate of each work were measured. Both in 2 measured items, statistically significant difference was observed between the work height of 120 and 40cm, 120 and 200cm, respectively. On the whole, correlation of oxygen uptake and heart rate was significant, too. At the same time, step tests were performed and regression line of oxygen uptake on heart rate of each subject was obtained. Oxygen uptake during sham pruning estimated by these regression lines was significantly larger than the measured value, because oxygen uptake during sham pruning was considerably lower than that of stepping exercise. However, work intensity of these low activities was able to be assessed by heart rate.

(Received August 11, 1995)

主として手を用いる作業では一般に、その対象物を机や台などを使用し胸から腰のあたりに位置させることが多い。対象物が動かせない場合は、作業者のほうが台やはしご等を使用する。しかし、たとえば林業における枝打ちの場合、枝1本ごとに作業者の位置を上下させるわけではなく、一定の範囲では姿勢の変化によって対処する。これは、作業工程からみてそのほうが有利であることが、経験的に知られているからである。ただし、枝打ちにおける作業者からみた枝の高さには作業しやすい範囲が存在し、それより高くても低くても作業しにくいと感じるものである。その理由として、枝の相対的な高さによる技術的な差異にともなう生理的負担の変化が考えられる。

この生理的負担の変化は、作業工程が優先される範囲においてはそれほど大きなものではないと思われる

ものの、単に求心性神経刺激水準の大小による知覚の差異に関する範囲にのみとどまるものなのか、エネルギー消費量にまで影響をおよぼすものであるのかについての報告はみられないので、この点を実験室における枝打ち模擬動作によって明らかにすることを試みた。同時に、エネルギー消費量に差異があるとすれば、それを心拍数の測定によって評価することができるかどうか、またその評価方法についても検討した。

方 法

男性被験者4人に、枝打ち模擬動作を行わせた。この4人の身体的特徴を、第1表に示した。動作については、枝打ちの対象となる立木に見立てた長さ2mの測量用ポール、床面より40cm, 120cm, 200cmのと

* 京都府立大学生活科学部体育情報学講座

Laboratory of Health and Physical Education, Faculty of Living Science, Kyoto Prefectural University

** 島根大学農学部附属演習林

Shimane University Forests

Table 1. Physical characteristics of the subjects.

| | height (cm) | weight (kg) | age (yrs) |
|------|-------------|-------------|-----------|
| mean | 172.2 | 67.8 | 21 |
| SD | 1.89 | 8.22 | 0 |

Subjects were 4 male students.

ころにガムテープを巻いて印をつけ、この位置に枝があるものと想定し、床の上に立たせた被験者に左手でポールを持たせ、右手で実際の枝打ちと同じように鉋および鋸を操作させた。鉋は重量650 g、全長35cm、刃渡り16cm、鋸は重量150 g、全長50cm、刃渡り30cmで、いずれも枝打ち用として市販されている製品を用いた。この2種類の用具それぞれについて3種類の高さ、すなわち全部で6水準の動作を3分間ずつ行わせた。各動作の間には、3分間ずつ椅子に座らせて安静を保たせた。高さ、および鉋と鋸を用いる順序は、いずれも被験者ごとにランダムに割りつけた。動作の際は1/100分ごとに信号音を発し、これにあわせ鉋または鋸を5往復操作させて1本の枝を打ったものとみなし、次の5拍は休ませて手の届く範囲でほぼ同じ高さにある別な枝を打つ準備態勢の時間と考え、これを繰り返して1分あたり10本の枝を打つペースで模擬動作を行わせた。この間、ジルコニア式酸素濃度計、赤外線式二酸化炭素濃度計、ならびに熱線式呼気流量計より構成される呼吸代謝連続測定装置（ミナト医科MG-360およびRM-300）を用いて酸素摂取量を、心拍信号出力の可能な心電計（日本光電OEC-6401）を用いて心拍数をそれぞれ1分ごとに測定し、これらをマイクロコンピュータ（NEC PC-9801n）に入力してフロッピィディスクに記録した。

さらに被験者全員についてステップテストを実施した。すなわち、仰臥位、椅座位、立位を3分間ずつとらせたあと、高さ40cmの踏台を使用し、1分あたり5、10、15、20、25、30回の昇降を、この順に3分間ずつ行わせた。その際、枝打ち動作における同じ方法で、酸素摂取量と心拍数を記録した。

枝打ち模擬動作およびステップテストにおける各3分間の酸素摂取量ならびに心拍数については、いずれも最後の1分間の数値を、定常状態のデータとして採用した。

結 果

枝打ち模擬動作について3種類の高さにおける酸素摂取量と心拍数を、第1図に示した。高さ120cmと40cm、120cmと200cmの動作間には、酸素摂取量、心拍数いずれについても有意差が認められた。全被験者の枝打ち模擬動作について、心拍数 x に対する酸素摂取量 y の回帰直線を求めたところ、 $y=0.101x-1.14$ 、相関係数は0.391で、両者の相関は有意であった。

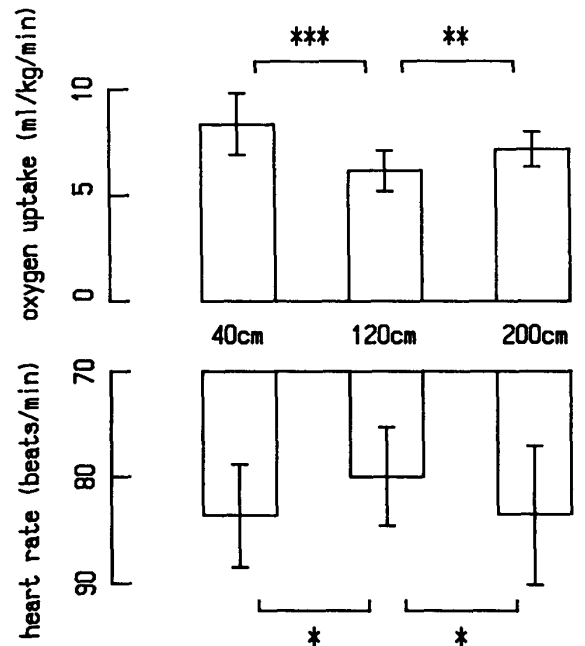


Fig.1 Mean and SD of oxygen uptake and heart rate of each working height. Correlation coefficient of oxygen uptake and heart rate was 0.391 and significant at $p < 0.05$. In the figure, *, **, and *** indicate significant difference at $p < 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively.

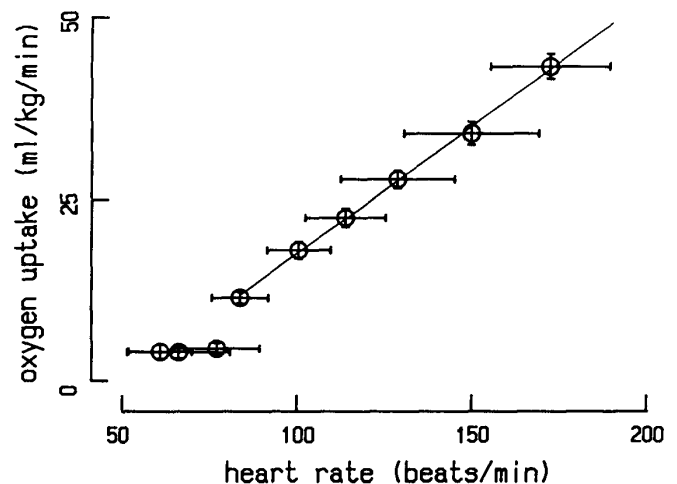


Fig.2 Relationships between heart rate and oxygen uptake during step tests. Each circle and bar corresponds to mean value and SD. From left, each point represents the data of supine posture, sitting, standing and stepping at rates of 5, 10, 15, 20, 25, 30 ascents/min, respectively.

ステップテストにおける全被験者の平均値と標準偏差を第2図に示したが、1分あたり5回から30回の昇降6水準の動作における両変数間には直線的な対応関

係があり、相関係数は0.999で相関は高度に有意であった。各被験者についてその6水準における相関係数の平均値と標準偏差は 0.994 ± 0.00236 で、いずれの被験者においても相関は高度に有意であった。そこで、各被験者の回帰直線をもとに枝打ち模擬動作の際の心拍数から酸素摂取量を計算したところ、すべてのデータについて実測値より大きく、第3図に示した通り実測値に対する割合の平均値と標準偏差は、 1.63 ± 0.306 倍で、高度に有意な差があった。

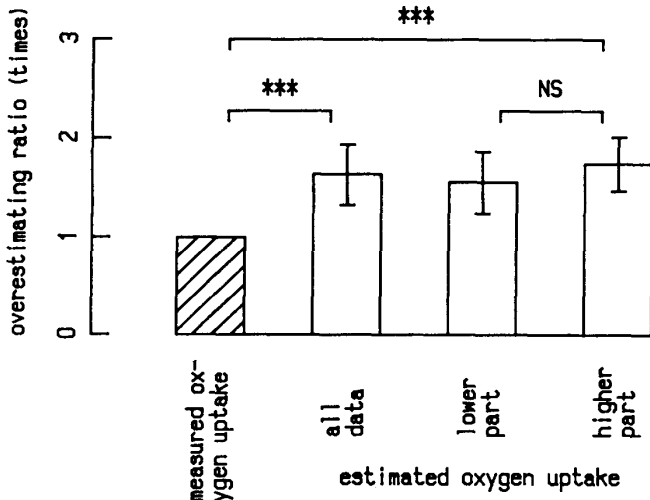


Fig.3 Mean and SD of overestimating ratio of estimated values by regression lines of oxygen uptake on heart rate derived from step tests. Lower part is constituted by the data derived from the heart rate lower than the value at 5 ascents/min during step test of each subject. Higher part corresponds to the range over 5 ascents/min, which is the direct proportional area about step tests. *** indicates significant difference at $p < 0.001$.

しかし、全データの58.3%における心拍数は、各被験者についてステップテストにおける1分あたり昇降回数5回の際の心拍数以下であった。第2図において立位時のデータは昇降回数5~30回の回帰直線上からはずれることより、昇降回数5回以下の運動強度においてはこの回帰直線から酸素摂取量を推定することに無理がある³⁾とみられるので、枝打ち模擬動作のうち、各被験者について1分あたり昇降回数5回の際の心拍数以上の数値のデータについてのみ酸素摂取量を計算したところ、第3図に示した通り、なおもすべてのデータについて実測値より大きく、実測値に対する割合の平均値と標準偏差は、 1.74 ± 0.277 倍で、高度に有意な差があった。また、ステップテストにおける1分あたり昇降回数5回の際の心拍数の数値未満のデータにおける、推定値の実測値に対する割合の平均値と、

その数値以上のデータにおけるこの平均値の間に、有意差はなかった。

考 察

枝打ち模擬動作を被験者に行わせた、床から40cm, 120cm, 200cmという枝の想定位置は、それぞれ、かなり低い、作業しやすい、かなり高いと感じる高さである。第1図に示した通り、経験的に作業しにくいと感じる高さでの作業は、単にそのように知覚されるだけでなく実際にエネルギー消費量が多いこと、この差は心拍数にも反映されることが明らかとなった。なお、実際の枝打ちにおける酸素摂取量は、既に報告⁴⁾した通り $21.7 \sim 23.3 \text{ ml/kg/min}$ 、またはこれに近い値^{6,8)}であり、実験室での模擬動作における数値はこれと大きく異なっていた。したがって、実際の枝打ちにおいて作業しやすい高さかそうでないかがエネルギー消費量に反映されるかどうかを、ただちに結論づけることは危険である。しかし、枝打ち模擬動作が安静時の酸素摂取量の2倍程度の作業であり、模擬動作ゆえ特殊な技能が発揮されてはいないので、むしろ一般的に、少なくともかなり低い身体活動水準においては、作業位置の高低による姿勢の違いに基づく経験的な感覚の差異が、エネルギー消費量の大小をとまうものであることが明らかとなった。

ステップテストにおける心拍数に対する酸素摂取量の回帰直線より枝打ち模擬動作時の酸素摂取量を計算したところ、実測値より有意に大きくなったことは、この方法を適用することが不適切であることを意味する。両者の数値に差が生じたことは、踏台への昇降が全身運動であるのに対し、枝打ち模擬動作が主として手を用いる作業であるため、酸素摂取水準に比較し心拍数が高く^{2,7)}なった可能性もふくめて、低水準の身体活動時に中等度以上の身体活動における心拍数に対する酸素摂取量の回帰直線をそのまま適用することができない⁴⁾ことをうらづけるものである。また、ステップテストにおいては昇降回数1分間あたり5回の点は、それ以上の身体活動強度においては心拍数と酸素摂取量が正比例し、それ以下ではこの回帰直線からはずれる境界点となっているのに対し、枝打ち模擬動作においてステップテストにおける昇降回数5回の際の心拍数未満の数値のデータとこれ以上のデータにおいて、実測値に対する計算値の倍率に差がなかったことは、ステップテストにおける昇降回数1分間あたり5回に相当する心拍数が、全身運動でない低水準の身体活動においては酸素摂取量と心拍数の関係の変化する点ではないことを意味する。一方、枝打ち模擬動作における酸素摂取量と心拍数の間には、有意な相関があった。したがって、前述のステップテストによる回帰直線の適用できないような低水準の身体活動においても、心

拍数の大小によって作業強度の大小を評価することができる。あるいはまた、そのような低水準で類似の動作¹⁾における身体活動時の心拍数に対する酸素摂取量の回帰直線を求めることによって、心拍数から酸素摂取量を推定することが可能である。

要 約

4人の被験者に実験室において、測量用のポールを立木に見立て、床から40cm, 120cm, 200cmのところそれぞれ枝があるものと想定し、鉋および鋸を用いて枝打ち模擬動作を行わせ、その際の酸素摂取量と心拍数を測定した。同じ被験者についてステップテストを実施し、心拍数に対する酸素摂取量の回帰直線を求めた。

枝打ち模擬動作の酸素摂取量と心拍数は、高さ120cmと40cm, および120cmと200cmにおいていずれも有意差があり、経験的に作業しやすい高さとならない高さの動作間には、単にそのような感覚の差だけでなく実際の作業強度に差のあることが明らかとなった。

実際の枝打ちと異なり模擬動作の強度はかなり低く、このような場合ステップテストによって求めた回帰直線をそのまま適用することはできないという著者⁵⁾の報告があらためて確認された。しかし、枝打ち模擬動作の際の酸素摂取量と心拍数の間には有意な相関があり、心拍数によって作業強度を評価できることが明らかとなった。

文 献

- 1) 加賀谷淳子 (1986) 心拍数に基づいた消費カロリーの算出法とその問題点. 体育の科学. 36, 858-863.
- 2) Lind, A. R. and G. W. McNicol (1967) Circulatory responses to sustained hand-grip contractions performed during other exercise, both rhythmic and static. J. Physiol. 192, 595-607.
- 3) 松原周信, 瀧本義彦, 山本俊明 (1988) 枝打ち機械を使用する作業の強度. 京府大学術報告 (理学・生活科学). 39, 53-59.
- 4) 松原周信, 瀧本義彦 (1990) 未熟練林業労働者における枝打ち作業の強度と工期. 京府大学術報告 (理学・生活科学). 41, B53-58.
- 5) 松原周信 (1992) 心拍数, 体温, 歩数の連続測定とエネルギー消費量の推定. 京府医大誌. 101, 1067-1078.
- 6) 林業機械化協会 (1961) 林業労働の作業強度表エネルギー代謝率. PP. 53-54.
- 7) Vokac, Z., H. Bell, E. Bautz-Holter, and K. Rodahl (1975) Oxygen uptake/heart rate relationship in leg and arm exercise, sitting and standing. J. Appl. Physiol. 39, 54-59.
- 8) 山本俊明, 瀧本義彦, 寺川 仁, 山田容三, 藤井禧雄, 佐々木功 (1986) 林業機械作業における作業者の生理負担に関する研究——枝打ち作業について——. 京大演報. 57, 247-257.