

未熟練林業労働者における枝打ち作業の強度と工期

松原周信*・瀧本義彦**

Work intensity and operational efficiency of pruning by unskilled forest workers.

CHIKANOBU MATSUBARA* and YOSHIHIKO TAKIMOTO**

To assess both work intensity and operational efficiency of pruning with hatchets and saws by unskilled forest workers, heart rate of 3 subjects while at pruning with each tool were measured with portable heart rate recorders continuously and the numbers of branches pruned were counted. And to evaluate work rate from heart rate response, relationships between heart rate and O_2 uptake, heart rate and energy expenditure were measured simultaneously applying a step test on each subject, then the intensity of pruning work with each tool was estimated from the relationships. The mean values observed for O_2 uptake during hatchet and saw work were 21.7 and 23.3 ml/kg/min, respectively, and for RMR, 5.34 and 5.81, respectively. But pruning speed of hatchet work was 14.5% smaller than that of saw work. The difference in work intensity with each pruning tool was not great, but saws were superior to hatchets for unskilled forest workers from the viewpoint of pruning speed.

(Received August 10, 1990)

林業における保育作業のひとつである枝打ちには、近年、機械の導入が進行しているとはいえ、その性能はまだ十分満足の行くものではなく^{14, 19, 20)}、少なくとも当分の間、手作業の存在意義が失われることは考えられない。手作業による枝打ちに使用される用具は、主として鉋または鋸であり、その他の用具は、特殊な条件の場合に限られる。一般に、比較的細い枝を払うためには鉋が使用され、太い枝では鋸が用いられる傾向にあるが、鉋のほうが切り口がきれいにまた思い通りの形状に仕上がることなどのため、いずれを用いるかは必ずしも枝の太さだけで決まるものではなく、結

果的に、この両者は共に同じ位の頻度で使用されている。しかるに、未熟練者にとっては、鉋の刃を、思い通りの位置に十分な速度で打ちつけることが困難なため、樹幹に傷をつけることが多く、また怪我の危険もあり、思い切って振ることができないため作業の能率も悪い。これに対し、鋸で枝を引く方がはるかに容易である。従って、未熟練者の作業を、熟練者と同様に論じることはできない。ところが、従来、未熟練者の枝打ち作業に関する研究は全くなされていないので、その作業強度と工期を測定した。

* 京都府立大学生生活科学部保健体育学講座

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

subject	height (cm)	weight (kg)	age (yrs)
No. 1	172.0	80.0	21
No. 2	170.0	65.0	21
No. 3	172.0	63.0	21
mean	171.3	69.3	21
SD	1.15	9.29	0

方 法

被験者3人の身体的特徴は、第1表に示した通りであった。この全員とも、大学の林学科に在籍する学生で、すでに林業実習の授業を受講していたため、枝打ちにおける鉋と鋸の使い方について、一応の知識とわずかばかりの体験を有してはいたが、実際に林業に従事した経験は持っていなかった。

枝打ち作業の強度は、山林における作業中の心拍数を連続的に測定することによって推定することとした。そのため、それぞれの被験者につき、実験室においてステップテストにより、心拍数と酸素摂取量およびエネルギー消費量の関係を求めた。踏み台の高さは40cmとし、まず仰臥位、椅座位、立位をそれぞれ3分間ずつとらせたあと、1分当たり、5、10、15、20、25、30回の昇降による6段階の運動負荷を、それぞれ3分間ずつ与えた。この間、胸部から心電図を誘導し、自作のR波検出装置を用いて心拍数を測定した。同時に、吸気および呼気の酸素および二酸化炭素濃度と呼吸気量を、ジルコニア式酸素濃度計および赤外線式二酸化炭素濃度計（ミナト医科 MG-360）、熱線式呼吸気流量計（ミナト医科 RM-300）を用いて測定し、酸素摂取量とエネルギー消費量を求めた。酸素および二酸化炭素濃度計は、各被験者測定のとど、標準ガスを用いて校正した。

得られたデータは、RS-232Cポートを介してマイクロコンピュータ（NEC PC-9801N）に入力し、フロッピーディスクに記録した。昇降のペースを指示する音信号は、同一のマイクロコンピュータを用い、内部のタイマICにより一定時間ごとに割り込みを起こさせ、バックグラウンドジョブとして発生させた。

ステップテストを実施した翌々日、3人の被験者に、山林で枝打ちを行なわせた。現場は、島根県北部に位置する、植栽後約20年を経たヒノキ林で、傾斜は約15度、林間には多種多数の灌木が茂っていた。枝打ち作業は、昼休みを間において午前と午後、全員同時に約1時間半ずつ行なわせ、2回の作業いずれも途中で5

分間の休息をその場でとらせた。3人の被験者には、条件が一様でよく似た3箇所を割り当て、斜面をあまり登り降りしないよう、これと直角方向に作業を進めさせた。枝打ち用具は、3人のうち2人が、午前中に鉋、午後鋸、他の1人はその逆とした。鉋、鋸とも、3人の被験者には、同一ロットの製品を使用させたが、前者は全長35cm、重量650g、後者は全長50cm、重量150gであった。なお、枝の切断面の形状等については特に制約は設けず、鉋、鋸いずれの場合にも、単に樹幹から枝部分を残さず切り落としさえすればよいものとした。また、梯子は使用させず、地上から手の届く枝の範囲にとどめさせた。この間、風は弱く、天候は晴時々曇、気温は6.6~8.1℃の範囲にあり、冬物の衣類を着用すれば暑さ寒さは全く感じず、作業に快適な気候条件であった。

枝打ち作業中の心拍数は、心電図を胸部から誘導し、市販の携帯式心拍数記録装置（竹井機器 心拍メモリ装置）および、自作による同様の装置¹²⁾を用いて、1分ごとに測定し、実験室に戻ってから、マイクロコンピュータ（NEC PC-9801N）を用いて読み出し、フロッピーディスクに記録した。枝打ちした枝の本数は、使用した用具別に、現場において計数した。

結 果

第1図は、ステップテストにおける椅座位、立位、1分当たり5~30回の昇降動作それぞれ3分間の時間のうち、いずれも最後の1分間の心拍数と酸素摂取量の関係を示したものである。最初に仰臥位をとらせたのは、椅座位の定常状態をすみやかに招来させるため、仰臥位のデータに関しては、2分間で定常状態に達することが期待できないので、図に示さなかった。いずれの被験者についても、椅座位と立位の点を別とすれば、1分間当たりの昇降5回から30回に至る6段階の運動負荷については、ほぼ1本の直線上に位置した。この相関関係を示す回帰直線の方程式は、第2表に示した通りで、両者の間には、いずれの被験者につ

いても、高度に有意な相関関係が認められた。従って、この範囲の運動強度においては、これらの方程式を使用することにより、心拍数から酸素摂取量を推定する

ことが可能である。同時に第2表には、1分間当たり5回の昇降の際の心拍数、すなわち、これらの方程式の適用できる心拍数の最小値をも示した。

Table 2. Equations to estimate oxygen uptake and other values

subject	HR _s ⁽¹⁾ (bpm)	regression line ⁽²⁾	r	
No. 1	75.9	$y = 0.285x - 11.9$	0.992	***
No. 2	78.9	$y = 0.360x - 14.9$	0.991	***
No. 3	85.3	$y = 0.499x - 29.1$	0.997	***
mean	80.0		0.993	
SD	4.80		0.00285	

(1) heart rate during stepping 5 ascents/min

(2) calculated with the data stepping 5-30 ascents/min on each subject

x=heart rate (bpm) y=oxygen uptake (ml/kg/min)

*** significant correlation at $p < 0.001$

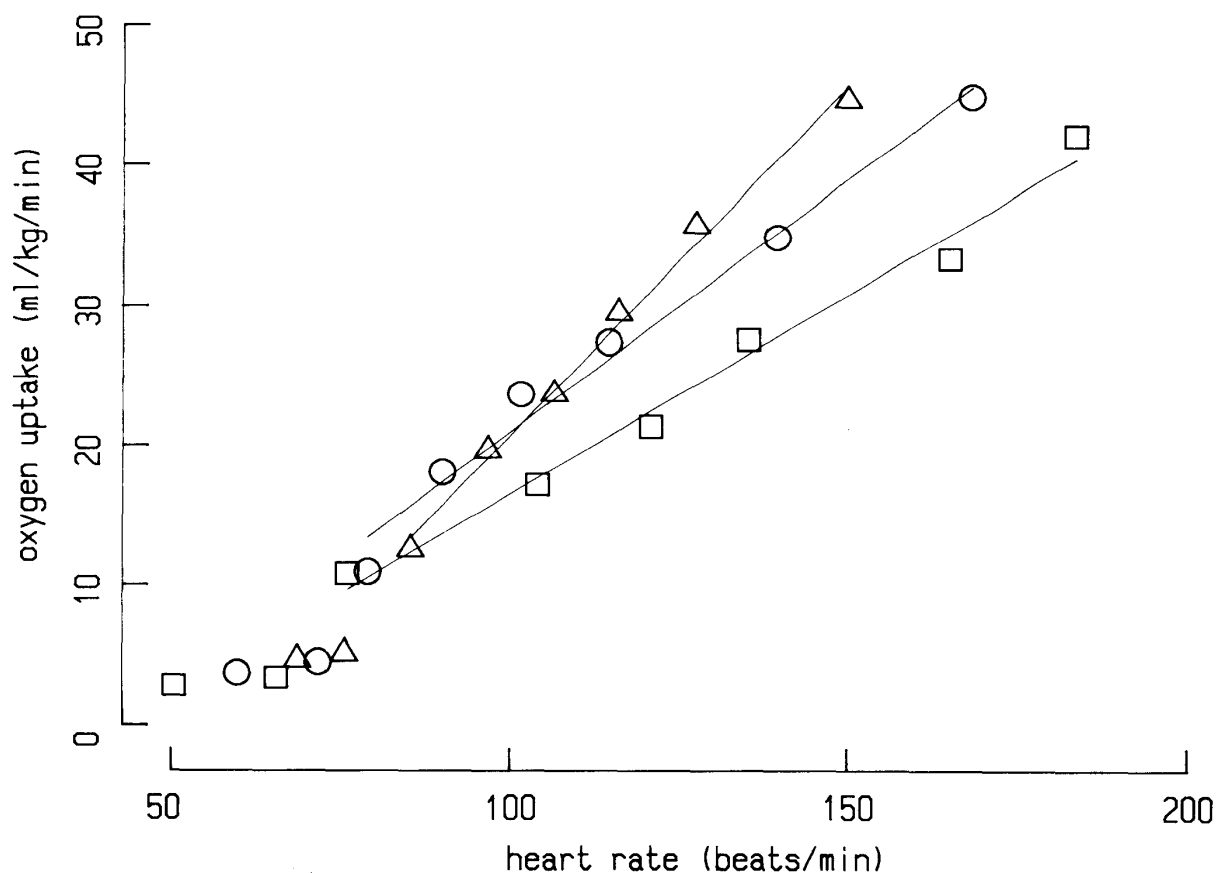


Fig. 1. Relationships between heart rate and oxygen uptake during step tests. Each mark □, ○, △ corresponds to subject No. 1, 2, 3, respectively. From left, each point represents the data of sitting, standing and stepping at rates of 5, 10, 15, 20, 25, 30 ascents/min, respectively.

つぎに、枝打ちの際、心拍数記録装置によって測定し、その後フロッピディスクに記録したデータについて、作業開始前、昼休み、2回にわたる作業中5分間の休息、および作業終了後のデータは除外し、実際に枝打ち作業を行なった時間だけのデータに関し、1分ごとの心拍数の最小値を求めたところ、いずれの被験者についても、鉋と鋸いずれの用具を用いた作業についても、その値は、第2表に示した方程式の適用できる最小値よりも大きかった。そこで、各被験者の枝打ち作業について、第2表の方程式によって1分ごとの酸素摂取量を計算し、3人の被験者のデータを合わせ、鉋と鋸を用いた作業それぞれについて集計したと

ころ、第3表に示す通りとなった。酸素摂取量にけると同様の手順を用い、RMRについても1分ごとに計算して、同じく第3表に示した。但し、基礎代謝は、各被験者ごとに、身長と体重から体表面積を求め⁷⁾た結果を用いて計算¹¹⁾し、安静代謝は基礎代謝の1.2倍とした。

3人の被験者が、鉋と鋸を用いて枝打ちした枝の数は、それぞれ、第4表に示した通りであった。そこで、得られたデータをもとに、作業強度と工期に関する項目について、鉋と鋸を用いる作業それぞれを比較し、併せて第4表に示した。

Table 3. $\dot{V}O_2$ and RMR while at pruning estimated from heart rate

	N	$\dot{V}O_2$ (ml/kg/min)		RMR	
hatchet	259	21.7±2.21	***	5.34±0.74	***
saw	257	23.3±3.30		5.81±0.91	

Values of $\dot{V}O_2$ and RMR are means ± SD. Each *** indicates significant difference at $p < 0.001$.

Table 4. Pooled data of all three subjects while at hatchet and saw work

		hatchet	saw	ratio ⁽¹⁾
mean $\dot{V}O_2$	(ml/kg/min)	21.7	23.3	0.931
mean RMR in every 1 min		5.34	5.81	0.920
working time	(min)	259	257	—
No. of branches pruned	(branches)	600	696	0.855 ⁽²⁾
pruning rate	(branches/min)	2.32	2.71	0.855
VO_2 per 1 branch	(ml/kg)	9.35	8.60	1.087

(1) hatchet/saw

(2) corrected by the time spent while at either hatchet or saw work

考 察

心拍数より酸素摂取量あるいはエネルギー消費量を求めるためには、1本の回帰直線^{1, 2, 5, 6, 9, 15, 17, 21)}あるいは曲線^{3, 6, 10)}のみを用いる方法のほか、身体活動強度の低い部分と高い部分で別々の2本^{8, 13, 21)}あるいは3本¹⁴⁾の直線を用いる方法、その他^{4, 13, 18)}の方法が報告されているが、少なくとも身体活動強度が一定以上の水準においては、両者が直線で回帰できることについて、ほぼ見解が一致している。本稿において対象とした枝

打ち作業中には、身体活動強度の特に低い時間はなく、心拍数の値は、第1図に示した直線関係部分を終始逸脱することがなかったので、各被験者ごとの作業強度すなわち酸素摂取量は、それぞれ、第2表に示した回帰直線1本の方程式のみを用いて計算した。

その結果、3人の未熟練者が、鉋および鋸を用いて行なった枝打ちの作業強度は、第3表に示した通り、鋸の方が高い強度を示し、その平均値は、鉋および鋸を用いた作業それぞれについて、体重1 kg 1分間当た

りの酸素摂取量21.7mlおよび23.3mlであった。これをRMRで表示すると、それぞれ5.34と5.81であった。

一方、熟練者の枝打ちにおけるRMRについては、林業機械化協会¹⁶⁾によって、梯子掛け替え（移動を含む）4.1～4.9、梯子上り下り4.0、梯子上枝切（鋸）3.5～4.0、地上にて枝切（鋸）2.9～3.4と報告されている。また山本ら²²⁾は、熟練者が梯子を使用した鉋によるヒノキの枝打ちについて、3人の被験者のエネルギー消費量を、それぞれ5.82, 3.88, 8.78kcal/minであったと報告している。ここには、同時に被験者の年齢、身長、体重の記載もあるので、これをもとにRMRを計算^{7,10)}すると、それぞれ5.1, 3.0, 8.1、3人の平均値5.4となった。

現場における傾斜の程度や灌木の多少、その他各種の要因が一致しないので、これらを正確に比較することは困難である。しかし、作業工期を考慮せず、単純に強度だけを比較した場合、概ね、未熟練者の地上における枝打ちは、熟練者が梯子を用いた枝打ちに匹敵するかまたはそれ以上の作業強度であるといえることができる。

次に、第4表に示した通り、未熟練者の鉋、鋸、それぞれを用いた枝打ち作業を比較すると、単位時間当たりの酸素摂取量すなわち作業強度については、鉋の方が鋸より6.9%小さな数値を示した。一方、枝打ち1本当たりの酸素摂取量は、鉋の方が8.7%多かった。これは、未熟練者の場合、鋸では、樹幹に傷をつけたり自分が怪我をしたりする可能性がほとんどないため、思い切った力を込めて引くことができ、身体活動強度も高くなるのに対し、鉋の操作はむずかしく、刃先の向かう方向を十分に制御できる程度の力を込めてしか振れないため、身体活動強度は低くなるものの、枝を1本打つのに長い時間を要し、従って単位時間に打った枝の本数が、鋸より14.5%少なくなったための結果である。

鉋と鋸における作業強度の差は、第3表に示した通り、統計的には有意であるが、しかしその差は酸素摂取量1.6ml/kg/min, RMRで表示しても0.47にすぎず、生体にとって大きな差ではない。これに対し、作業工期における、単位時間当たり枝打ち本数の差14.5%は、林業経営上の観点からして、小さいとはいえない。

従って、未熟練者に枝打ちをさせる際、切断面に特殊な仕上がりを要求したり、訓練を兼ねて作業させるような場合は別として、単純に作業効率の観点だけから判断してよい時には、鉋と鋸では、樹幹に傷をつけたり作業者が怪我をしたりする可能性の低いこととあわせ、鋸の方が優れているといえることができる。

要 約

3人の未熟練林業労働者を被験者とし、実験室でステップテストを行ない、各人における心拍数と酸素摂取量およびエネルギー消費量の関係を求めた。次に、山林において一定時間ずつ、鉋および鋸を用い、地上から手の届く範囲で枝打ちを行なわせ、用具別の枝打ち本数を計数するとともに、その間の心拍数を1分ごとに記録し、ステップテストの結果を用いて作業強度を計算した。

鉋および鋸を用いた枝打ち作業の酸素摂取量の、3人の被験者全員における平均値は、それぞれ21.7および23.3ml/kg/min, RMRについては5.34および5.81であった。これは、熟練者の梯子を用いた作業に匹敵するかまたはそれ以上の強度に相当した。

単位時間当たりの酸素摂取量は、鉋を用いた作業の方が鋸よりも6.9%小さく、枝打ち1本当たりの酸素摂取量は、鉋の方が鋸より8.7%大きかった。これは、未熟練者にとって鉋の方が操作がむずかしく、思い切った力を込めることができず、結果として作業に時間がかかるため、単位時間当たりの枝打ち本数は、鉋を用いた作業は鋸に対し14.5%小さかった。

作業強度は鋸の方が鉋より大きかったが、その差は酸素摂取量にして1.6ml/kg/min, RMRで0.47と、生体にとってわずかな差にすぎなかったため、作業の能率からみて、また、樹幹に傷をつけたり作業者が怪我をする可能性が鋸において低いこととあわせ、未熟練者が枝打ちに用いる用具としては、鉋より鋸の方が適当である。

御校閲賜わった京都府立医科大学第一生理学教室の森本武利教授に深甚の謝意を表します。なお、本研究は平成元年度科学研究費補助金の交付を受けて行なった。

文 献

- 1) Acheson, K. J., I. T. Campbell, O. G. Edholm, D. S. Miller, and M. J. Stock (1980) The measurement of daily energy expenditure — an evaluation of some techniques. *Am. J. Clin. Nutr.* 33, 1155—1164.
- 2) Astrand, Irma (1971) Estimating the energy expenditure of housekeeping activities. *Am. J. Clin. Nutr.* 24, 1471—1475.
- 3) Campbell, I. T. (1984) The use of heart rate to measure habitual energy expenditure. *Am. J. Clin. Nutr.* 39, 494—496.
- 4) Ceesay, Sana M., Andrew M. Prentice, Kenneth C. Day, Peter R. Murgatroyd, Gail

- R. Goldberg, and Wendy Scott (1989) The use of heart rate monitoring in the estimation of energy expenditure : a validation study using indirect whole-body calorimetry. *Br. J. Nutr.* 61, 175-186.
- 5) Christensen, Carl C., Harald M M Frey, Erik Foensterien, E Eng, Erling Aadl, and Harald E Refsum (1983) A critical evaluation of energy expenditure estimates based on individual O₂ Consumption/heart rate curves and average daily heart rate. *Am. J. Clin. Nutr.* 37, 468-472.
- 6) Dauncey, M. J., and W. P. J. James (1979) Assessment of the heart-rate method for determining energy expenditure in man, using a whole body calorimeter. *Br. J. Nutr.* 42, 1-13.
- 7) 藤本薫喜, 渡辺孟, 坂本淳, 湯川幸一, 森本和枝 (1968) 日本人の体表面積に関する研究 第18篇三期にまとめた算出式. *日衛誌.* 23, 443-450.
- 8) 橋本勲, 青木純一郎, 進藤宗洋, 小林寛道, 佐藤祐 (1983) 日本人の身体活動量の低下状況とその改善手段に関する研究. *栄研報告.* 32, 53-60.
- 9) Htay, Htay, Lilian Po, and M. Mya-Tu (1978) Habitual physical activity of rural Burmese women. *Ergonomics.* 21, 239-245.
- 10) Kashiwazaki, Hiroshi, Tsukasa Inaoka, Tsuguyoshi Suzuki, and Tomiko Tamada (1985) Daily energy expenditure of middle-aged Japanese housewives measured by 24-hour heart rate and diary. *Nutrition Research.* 5, 453-463.
- 11) 厚生省保健医療局健康増進栄養課 (1989) 第四次改定日本人の栄養所要量. P31. 第一出版.
- 12) 松原周信 (1984) 携帯式心拍数, 体温, 歩数記録装置の試作. *日本体育学会第35回大会号.* 550.
- 13) 松原周信, 日比野朔郎, 砥堀雅信 (1986) 心拍数を指標とした大学スキー実習受講者の生理的負担. *学校保健研究.* 28 SUPPL., 231.
- 14) 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.
- 15) Payne, Philip R., Erica F. Wheeler, and Carmencita B. Salvosa (1971) Prediction of daily energy expenditure from average pulse rate. *Am. J. Clin. Nutr.* 24, 1164-1170.
- 16) 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. PP53-54.
- 17) Schutz, Yves, Aaron Lechtig, and Robert B. Bradfield (1980) Energy expenditure and food intakes of lactating woman in Guatemala. *Am. J. Clin. Nutr.* 33, 892-902.
- 18) Spurr, G. B., A. M. Prentice, P. R. Murgatroyd, G. R. Goldberg, J. C. Reina, N. T. Christman (1988) Energy expenditure from minute-by-minute heart-rate recording comparison with indirect calorimetry. *Am. J. Clin. Nutr.* 48, 552-559.
- 19) 瀧本義彦, 藤井禎雄, 山本俊明, 竹内典之, 佐々木功, 山下俊二 (1987) 枝打ち機械の作業工程について (3) — 異なった枝打ち機械による作業工程の比較 (2) —. *京大演報.* 59, 196-206.
- 20) 瀧本義彦, 佐々木功, 神崎康一, 藤井禎雄, 山本俊明, 竹内典之, 古谷士郎, 酒井徹朗, 山田容三, 山本誠, 後藤純一 (1987) 枝打ち機械の機構に関する研究 (I) — 木登りロボットの試作に向けて —. *日林論.* 98, 711-712.
- 21) Warnold, Ingrid, and Regnhild Arvidsson Lenner (1977) Evaluation of the heart rate method to determine the daily energy expenditure in disease. A study in juvenile diabetics. *Am. J. Clin. Nutr.* 30, 304-315.
- 22) 山本俊明, 瀧本義彦, 寺川仁, 山田容三, 藤井禎雄, 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.