
論文

林業作業における作業負担指標としての心拍数について
—安静時, 負荷時および回復時の心拍数—

ターウォンウォン・ロパチョーク*

藤井 禧雄**

On the Heart Rate as an Index of the
Work Load in Forest Operations
—Heart Rate before, after and during Work—

Thawornwong Lopachoke*

Yoshio Fujii**

Summary

This study looks at heart rate as an index to assess the work load of forest workers. The relationship between the heart rate at rest before work, after work and during work was investigated. Special attention was paid to the subject's heart rate at rest, which was the standard value for each subject. The indexes of the work load calculated from heart rate are also discussed.

For this study, a physical strength test was carried out with a bicycle ergometer. The heart rates for the 13 subjects including 2 forest workers were recorded with the heart rate memory unit during these riding tests (including the 5 minute rest period before and after the test).

The results of the study can be summarized as follows:

1. The value of both the number of and the rate of increase of heart rate decreased linearly as the subject's heart rate at rest increases. But the number of increase was smaller than the rate of increase in the ratio of the decrease, that is, the former was more

* 鳥取大学連合農学研究科

The United Graduate School of Agricultural Science, Tottori Univ.

** 鳥取大学農学部 農林総合科学科 森林生産学講座 林業工学研究室

Forest Engineering Lab., Dep. of Forestry Science, Fac. of Agri., Tottori Univ.

independent of the daily change of the subject's heart rate at rest than the latter, judging from the gradient of the regression equations (see Fig. 2 and Fig. 3). Therefore, it seems that the number of increase is better than the rate of increase as an index of work load.

2. In the period of recovery after the test, the heart rates of the forest workers recovered more rapidly and kept a lower level than those of other subjects (university students). In the case of forest workers, the recovery time to the resting level was about 150 seconds after finishing the test (see Fig. 4).

3. There was the general tendency that a subject who showed the lower heart rate level at rest had more maximal oxygen uptake, which showed the work capacity of the subjects (see Fig 6).

I はじめに

心拍数を指標として、各種林業作業における作業負担を論ずる際、作業者の安静時心拍数をその基準値として用いるのが一般的である。ところで、この安静時心拍数は、作業者自身の諸条件および外的環境条件により変動するものであり、この点については、さまざまに論議してきている。^{1,2)} 今回は、簡易に最大酸素摂取量などが推算できる自転車エルゴメーターを用い、また被験者にベテランの林業作業者を加えて実験を行ない、より現場に即した観点から安静時、負荷時および回復時の心拍数、また最大酸素摂取量などの諸関係について論じた。さらに、作業負担の指標である心拍増加数および心拍増加率についても論じてみた。

II 実験方法

室内に置かれた自転車エルゴメーター（竹井機器工業製、キューティ）を用いて、各被験者の全身持久力をテストする実験を行なった。このエルゴメーターは、負荷中の経過時間、走行距離および速度、脈拍数、最大酸素摂取量、消費カロリーなどを計測または推算し、表示できる。

被験者は13名で、その内の7名は20才代の学部学生、4名は30才代の大学院生、残りの2名は50才前後の演習林で林業に携わっているベテランの技官であった（表1参照）。

心拍数の計測は、このエルゴメーターの脈拍計測器とは別に心拍メモリー装置（竹井機器工業製、1850a）を用意し、安静時および負荷時の心拍数を5秒間隔で連続して計測し、同装置のメモリー部に記憶させた。このデータは、後にインターフェース（同、1850e）を介してパーソナルコンピューターに転送し、処理した。

実験は、1日1人を対象にし、被験者の心拍数が比較的安定していると考えられる午前11時と午後4時の2回に行なった。¹⁾ その手順であるが、被験者は、まず椅子に座り5分間の安静状態を経た後、すぐに自転車エルゴメーターを漕ぎ始め、被験者の年齢や体重に応じた負荷が与えられて、当人の全身持久力がテストされた後、テスト終了を知らせるアラーム音と共に漕ぐのをやめ、再び椅子に座り約5分間の回復状態を経た。負荷が与えられる時間は被験者によって異なるが、大体5~7分くらい、遅い人で10分くらいであった。エルゴメーターは時速約25km/hを保つ

様に漕ぎ、そのペダル回転のテンポはほぼ70回/分であった。この間の心拍数を連続して記録し、またエルゴメーターに表示された各種値を読み取った。

III 結果と考察

全身持久力テストの結果およびそれ等を用いて計算した一般に広く用いられている2種類の作業負担指標を、被験者ごとに一括して表1に示した。

表1 被験者の心拍数等及び最大酸素摂取量

被験者	年齢 才	体重 kg	温度 (°C) 湿度 (%)	最大酸素 摂取量 ml/kg/min	平均心拍数 (心拍/分)			心拍 増加数 (心拍)	心拍 増加率 (%)
					テスト前 安静時	テスト時	テスト後 安静時		
S1...1 ⁺ 2 ⁺⁺	24	60	20-22	42.0	66.4	118.9	94.0	52.5	79.1
			50-60	45.0	67.4	126.9	115.1	59.5	88.2
S2...1 2	23	85	18-20	28.3	94.8	122.2	103.4	27.4	28.9
			60-70	32.6	91.8	121.8	105.2	30.0	32.7
S3...1 2	22	57	17-20	47.8	64.2	113.5	72.6	49.3	76.8
			60-70	49.2	81.0	115.7	87.4	34.7	42.8
S4...1 2	22	62	22-25	41.7	74.8	110.5	87.6	35.7	47.7
			55-60	41.7	82.4	117.2	90.6	34.8	42.2
S5...1 2	22	60	24-25	48.9	78.1	112.8	77.7	35.1	45.2
			55-60	44.4	84.4	115.2	83.3	31.9	38.3
S6...1 2	22	80	24-26	46.2	60.6	104.9	77.3	44.3	73.1
			50-60	42.9	55.8	105.2	78.1	49.4	88.5
S7...1 2	22	64	22-25	41.9	99.8	116.8	101.9	17.0	17.0
			50-55	44.7	85.0	116.6	89.8	31.6	37.2
G1...1 2	30	57	20-22	38.7	73.8	118.3	90.1	44.5	60.3
			60	40.2	79.8	124.4	100.1	44.6	55.9
G2...1 2	29	65	20-22	50.2	59.4	108.5	73.0	49.1	82.7
			55-65	49.8	59.6	111.2	80.8	51.6	86.6
G3...1 2	34	67	21-22	51.8	66.6	116.3	75.8	49.7	74.6
			50-55	49.2	63.2	114.3	75.7	51.1	80.9
G4...1 2	35	74	20-24	35.0	70.6	109.3	77.4	38.7	54.8
			60	36.2	63.8	109.2	78.1	45.4	71.5
W1...1 2	53	59	22-25	48.8	59.0	108.0	75.5	49.0	83.0
			50-60	50.6	62.4	108.5	76.2	46.1	73.9
W1...1 2	48	56	22-25	44.0	70.8	103.2	74.0	32.4	45.8
			50-60	42.7	61.2	101.0	75.5	39.8	65.0

*1=午前の実験 (11:00時)

**2=午後の実験 (16:00時)

なお、表中のテスト前後の安静時およびテスト時の心拍数は、それぞれその期間中における平均心拍数を表わしている (以下、平均の文字を省略して記述する)。また、最大酸素摂取量は、自転車エルゴメーターによる全身持久力テスト中に被験者に加えられた軽重2つの一定負荷時の心拍数を基にして推算された値である。また、2種類の指標はつぎの式で計算された値である。

$$\text{心拍増加数 (心拍)} = \text{テスト時心拍数} - \text{テスト前安静時心拍数}$$

$$\text{心拍増加率 (\%)} = (\text{心拍増加数} / \text{テスト前安静時心拍数}) \times 100$$

ところで、前述のように被験者は年齢ないしは職務などを異にした3つの階層を含んでいたが、各種心拍数や最大酸素摂取量をこの階層ごとに示したのが図1である。心拍数や最大酸素摂取量

の水準が、階層ごとに明らかに異なっており、とりわけ、50才前後の林業作業者の各種水準が際だっている。例えば、林業作業者は学部学生と比較して最大酸素摂取量が約8.9%高く、また、テスト中の心拍数では約9.0%低い心拍水準を示した。つまり、この階層の体力は、学生や大学院生の体力と較べ、その水準をかなり異にしていることが分かる。したがって、以下の考察ではこの階層ごとの体力差を念頭において論ずることとする。

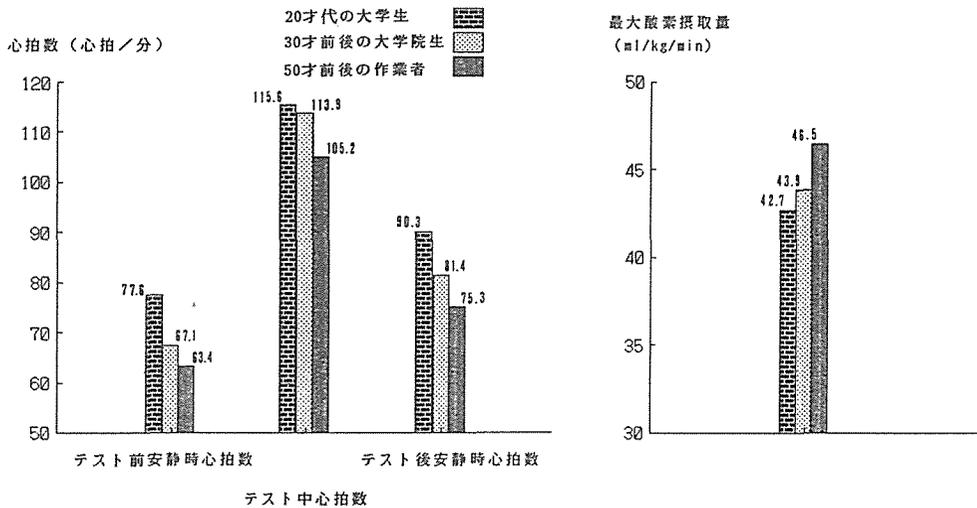


図1 全身持久力テストにおける被験者の平均心拍数等及び最大酸素摂取量

なお、20才代の学部学生と30才前後の大学院生との各種心拍数などの差についてであるが、この3人の大学院生はかつてスポーツを通して身体を鍛えた経験を持つ者ばかりである。さらに、50才前後の者は林業作業のベテランであることを勘案すると、この3つのグループは年代の差というよりも、むしろ体力および作業経験の差であると考えた方が良さそうである。この点に関しては、後ほど改めて論ずる。

1. 安静時心拍数とテスト時（負荷時）心拍数との相関について

各被験者のテスト前安静時心拍数とテスト中の心拍数増加数および心拍増加率との関係を示したのが、それぞれ図2、図3である。両図から、被験者の安静時の心拍数が高いほどテスト中の心拍増加数および増加率が低くなる傾向が認められる。両図には年齢段階ごとの回帰直線と相関係数が示されているが、いずれの場合も心拍増加率の直線勾配および相関係数が心拍増加数のそれ等を上回っているのがわかる。

また、これを被験者全体で示すと、

	回帰直線	相関係数	推定値の標準誤差
心拍増加数の場合	$Y = 90.2 - 0.68X$	0.84	5.41
心拍増加率の場合	$Y = 176.7 - 1.61X$	0.93	7.68

となり、増加率では増加数と比較して、回帰直線の傾きが大きく、また回帰直線の周りのばらつ

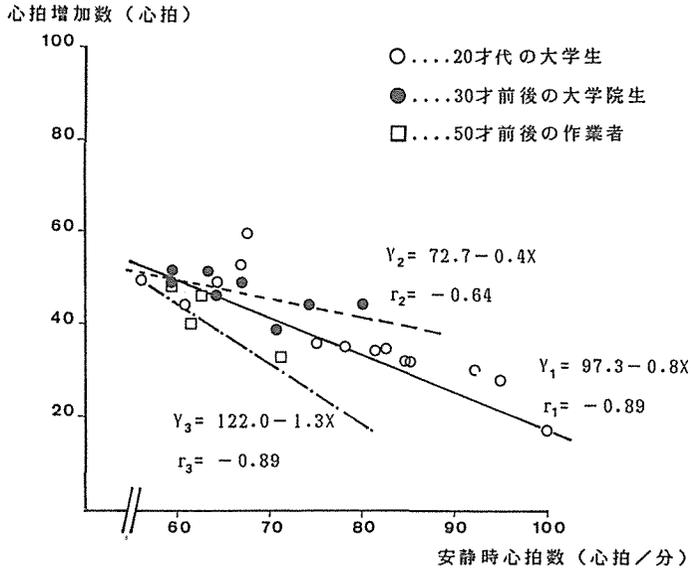


図2 テスト前安静時心拍数とテスト中の心拍増加数との関係

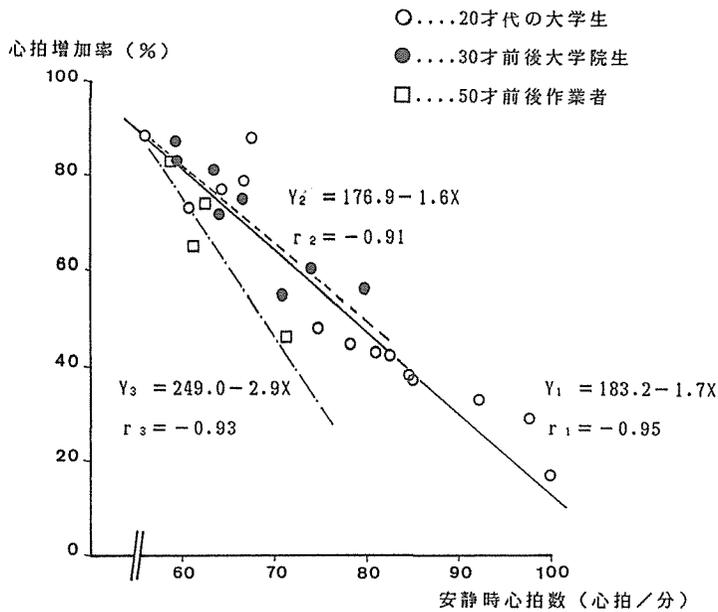


図3 テスト前安静時心拍数とテスト中の心拍増加率との関係

きが大きいことがわかる。

つまり、各被験者の体力に見合った一定の負荷下での作業にもかかわらず、その作業負担を心拍増加数で示した方が心拍増加率で示すよりも、その時々安静時心拍数の高低に影響され難いことを示している。したがって、作業負担の指標としては、心拍増加数の方が心拍増加率よりも好ましいと言え、異なる3つの階層の被験者を含んだに今回の場合も、今までの研究^{1,2)}と一致

する傾向を示した。ここで、特に注目したいのは、両図に見られるように学生達と比較して林業熟練者では、回帰直線の勾配が大きいことである。すなわち、作業負担の値がその時々の安静時心拍数の高低の影響を受け易く、現場における安静時心拍数の計測の際には、その計測環境を整えるための細心の注意と配慮が必要であり、また、計測手法に熟達している必要があることを示唆していると言えよう。

ところで、この両指標の定義式をここで比較検討してみよう。例えば、ある被験者が一定負荷の作業を行なう場合を考える。

ある日の彼の安静時心拍数を R_1 、負荷作業時の心拍数を W_1 とする。また、別の日のそれ等心拍数をそれぞれ、 R_2 、 W_2 とする。この両日における作業負担は、それぞれ、

心拍増加数では、 $W_1 - R_1$ 、 $W_2 - R_2$ 、

心拍増加率では、 $100(W_1 - R_1)/R_1$ 、 $100(W_2 - R_2)/R_2$

となる。

つぎに、この両日の作業負担の比を取り、式を整理して示すと増加数、増加率の比は、それぞれ

$$\frac{W_1 - R_1}{W_2 - R_2}, \frac{W_1 - R_1}{W_2 - R_2} \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

となる。

すなわち、心拍増加率の比は、心拍増加数の比に R_1/R_2 を掛けた式になっている。この項は両日の安静時心拍数の比であり、安静時心拍数が日時によって変化することを考えれば、理論的にみても心拍増加率の方が安静時心拍数の大小の影響を、より受け易い指標であることが分かる。

このように、実験的にも理論的にも、作業負担の指標としては心拍増加数の方が好ましいと言えよう。ちなみに、ドイツにおいては、林業における作業負担は心拍増加数で示されるのが一般的である。³⁾

2. 回復時の心拍数について

テスト終了後、5分間にわたる回復時の心拍数の変化を、各30秒間隔の平均心拍数で示したのが表2および図4である。いずれも、被験者の各階層ごとに示してあるが、図4を見ると、林業作業員、大学院生、学部学生の順に、より早く心拍数が一定のレベルまで回復し、安定するのが分かるが、それ等の心拍レベルは、それぞれ73、79、87心拍/分であった。また、表2から回復し、安定するまでの時間を調べると、林業作業員と大学院生では150秒(2.5分)、学部学生では210秒(3.5分)であり、鍛錬した者と普通の者との間では、回復の様子にかなりの差が認められた。

李らは、⁴⁾ この回復の程度を示す指標として回復度を定義しているが、それを参考にして、つぎの式で示す回復率を計算してみた。

$$HRRL(\%) = \frac{HRCE - HRR}{HRCE - HRM} \cdot 100$$

表2 回復時の心拍数変化

被験者のグループ	各30秒間の平均値(心拍/分)									
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300秒
20才代の大学生	123	103	97	93	91	88	87	87	86	86
30才代の大学院生	119	100	89	83	79	79	79	78	78	78
50才前後の作業者	113	90	80	75	73	73	73	72	72	72

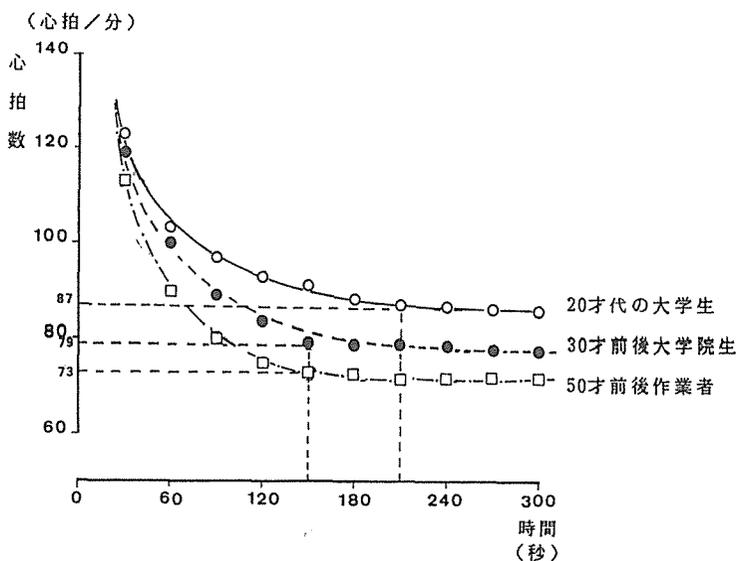


図4 回復時の心拍数変化

ただし、HRR L：回復率(%)

HRC E：テスト終了直前30秒間の平均心拍数(心拍/分)

HRR：回復時、最後の30秒間の平均心拍数(心拍/分)

H R M：テスト前、安静時の平均心拍数(心拍/分)

すなわち、この回復率は、作業前安静時心拍数のレベルに対してテスト終了後の回復時心拍数レベルが、どの程度の割合になるかを示している。

その計算結果を表3に示したが、平均回復率は林業作業で87.4% (標準偏差5.35)、大学院生で84.8% (同6.50)、学部学生で90.0% (同12.97)であった。この様に学部学生の回復率のばらつきが大きくて階層別の傾向は判然としなかったが、被験者全体では88.0% (同10.4)であった。

今回の全身持久力テストでは、被験者の年齢と体重に応じて推算される上限心拍数の約50%に相当する負荷が与えられ、表1に示したように心拍増加数も平均すると41.4心拍に達し、被験者

表3 安静時心拍数の回復率

被験者	CASE	心拍数等(心拍/分)			回復率(%) HRRL(t_0)	各グループの 平均回復率	
		HRCE	HRM	HRR(t_0)			
S1	1	158.0	66.4	80.0	85.2	90.0	
	2	172.0	67.4	108.0	61.2		
S2	1	142.0	94.8	98.0	93.2		
	2	140.0	91.8	102.0	78.8		
S3	1	136.0	64.2	68.0	94.7		
	2	138.0	81.0	84.0	94.7		
S4	1	134.0	74.8	82.0	87.8		
	2	138.0	82.4	90.0	86.3		
S5	1	128.0	78.1	74.0	108.2		
	2	136.0	84.4	78.0	112.4		
S6	1	140.0	60.6	70.0	88.2		
	2	132.0	55.8	74.0	76.1		
S7	1	130.0	99.8	100.0	99.3		
	2	140.0	85.0	88.0	94.5		

G1	1	138.0	73.8	86.0	81.0		84.8
	2	158.0	79.8	98.0	76.7		
G2	1	134.0	59.4	66.0	91.2		
	2	134.0	59.6	78.0	75.3		
G3	1	142.0	66.6	74.0	90.2		
	2	134.0	63.2	74.0	84.7		
G4	1	136.0	70.6	76.0	91.7		
	2	130.0	63.8	72.0	87.6		

W1	1	136.0	59.0	68.0	88.3	87.4	
	2	134.0	62.4	72.0	86.6		
W2	1	122.0	70.8	74.0	93.8		
	2	128.0	61.2	74.0	80.8		

CASE1=午前の実験(11:00時) CASE2=午後の実験(16:00時)

にとってはかなりの負荷であったが、作業後5分間で、作業前安静時心拍数レベルの約88%のレベルにまで回復していた。

3. 最大酸素摂取量について

最後に、被験者の全身持久力、つまり被験者の作業能力の指標である最大酸素摂取量について述べる。前述のように、表1に示した最大酸素摂取量は被験者のテスト中の心拍数の増加割合から推算した値であるが、この最大摂取量と作業前安静時心拍数との関係を示したのが図6、テスト中の平均心拍数との関係を示したのが図7である。両者の相関係数は0.51、0.30とあまり高くなかったが、図中の回帰直線を見ると右下がりの傾向を示し、やはり、安静時およびテスト中の心拍数が低い者ほど最大酸素摂取量が高くなる傾向を示している。

安静時心拍数の低い人は、一般に体力的にも優れており、安静時心拍数からその人の体力を推定できるとされているが、⁵⁾ この場合も同様の傾向が認められた。

すなわち、林業作業者は安静時心拍数が低く、また、最大酸素摂取量も高く、他の階層の被験者よりも体力的に優れていることが伺えた。

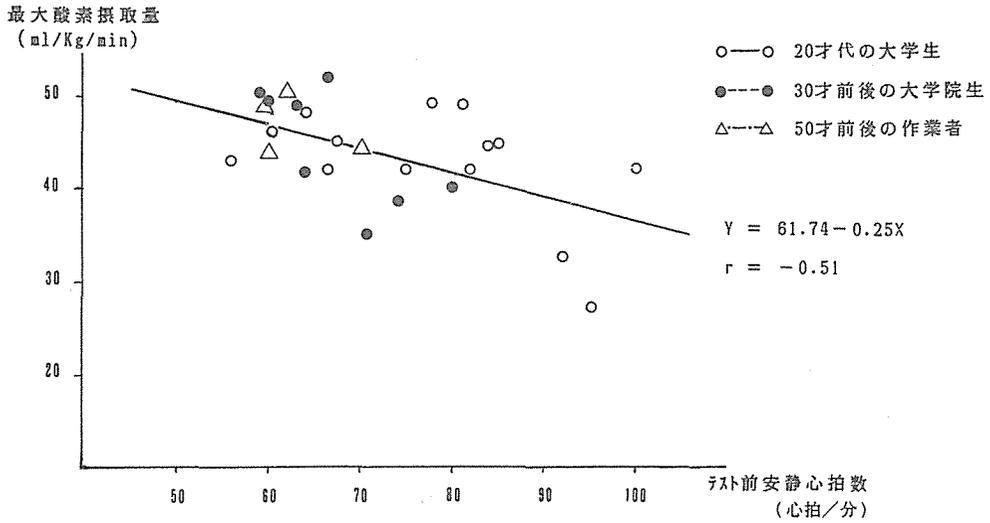


図5 最大酸素摂取量 ($VO_2 \max$) とテスト前安静時心拍数との関係

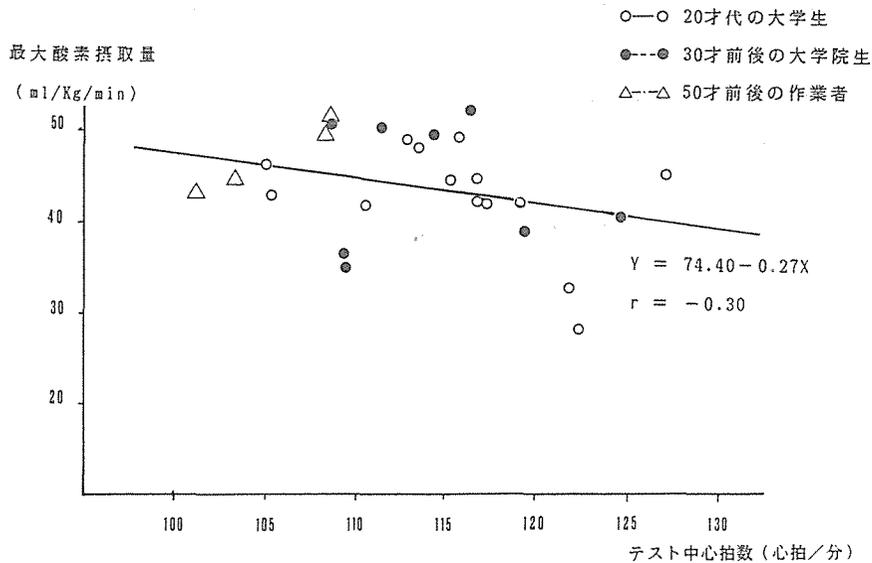


図6 最大酸素摂取量 ($VO_2 \max$) とテスト中の心拍数との関係

IV 摘 要

1. わが国では、作業負担の指標として、心拍増加数および心拍増加率が広く用いられているが、本実験の結果から、また、前述の理論的考察からみても、その時々作業者の安静時心拍数の変動の影響を受けにくい心拍増加数の方が優れた指標であると思われる。

2. 長年、林業に従事してきた作業者は、20~30才代の大学生達と較べ、体力的に、すなわち、安静時および負荷時の心拍数水準、最大酸素摂取量、作業後の回復力の点で、明らかに優れている。

ることが定量的に明確になった。

作業負担に関する調査、実験においては、学生を被験者として用いる場合が多いのであるが、その実験結果などを林業現場に当てはめて論ずる際、この体力的な差をよく考慮する必要がある。

謝 辞

以上の実験を行なうに当たり、鳥取大学蒜山演習林の方々ならびに平成元年度および2年度の林業工学研究室の専攻生、大学院生諸君には被験者として多大なるご協力を頂いた。また、林業工学研究室の宮田和夫助教授からは折りに触れて有益なご助言を賜った。ここに併せて、深謝する次第である。

引用文献

- 1) 藤井禧雄・古谷士郎：作業負担指標としての心拍数に関する基礎的考察，静岡大農研報26，pp.13～21 (1976)
- 2) 藤井禧雄・長田浩一：安静時心拍数と負荷時心拍数との相関関係について，静岡大演習林報告4，pp. 13～21 (1978)
- 3) GRAMMEL, R: Forstliche Arbeitslehre, Paul Parey, Hamburg & Berlin, pp. 119～123 (1978)
- 4) 李 文彬・伏見知道・井上章二：急傾斜地の下刈作業における作業者の心拍数変化と作業時間について，日林誌72 (3), pp. 216～222 (1990)
- 5) 山地啓司：運動処方のための心拍数の科学，大修館書店，東京，pp. 15～75 (1981)