農作業における心拍数と酸素摂取量の関係について

正田慶夫・垂井不二男・鶴崎 孝

On the Relationship between Heart Rate and Oxygen Intake in Farm Work

Yoshio HIKIDA, Fujio TARUI and Takashi TSURUSAKI

1 緒 言

ある作業を行なうとき、1分間当り体内に摂取される酸素の量（以下、酸素摂取量という）は、作業強度（R.M.R., Mets など）、消費エネルギー算出の基礎になる。しかしながらその測定には、換気量の計測、呼吸成分の分析が必要で、多くの時間と労力を要するうえに、作業の種類によってはこれらの計測が困難な場合もある。従って、計測が簡単で且つ酸素摂取量と高い相関を有する心拍数によって、その測定を代用しようとする試みが、体育学^{1,8)}、人間工学³⁾、労働科学^{2,9)}などの分野でなされてきた。

スポーツの分野におけるこの試みは、効果的なトレーニングの強度を処方するという目的の特殊性と、そこでの身体の動きが比較的に全身的で動的であるという理由により、かなり実用的な成果を納めている¹⁾。しかし各種生産活動の面で、心拍数から酸素摂取量を推定しようとする試みには、職種による身体動作の特殊性、また個人間の体力差などにより、なお多くの解決すべき問題点が残されている。

対象を農作業に限定しても、同様な問題が残るのであるが、他産業およびスポーツにはみられない農作業自体の特徴に基づき、調査および測定することを試みた。酒井ら^{4,5,6)}および佐原⁷⁾は、家畜飼養管理作業に関わる心拍数とエネルギー代謝率

との関係を述べたが、ここでは、部分的な筋肉の使用と比較的ゆるやかな動作という農作業の特徴をもった、下肢の屈伸運動、かかえ運搬およびイチゴ収穫作業において、心拍数と酸素摂取量の関係を調べた。

2 実験方法

6人の健康な男子学生（年齢21—23歳、身長160—175cm、体重50—67kg）を被験者とし、1981年7月28日から11月27日（気温14—32℃）にわたって実験を行なった。これら6名の学生は、実験内容にも習熟し、被験者としての経験も豊富である。最初に、トレッドミル（西川鉄工所製、NT-12型）による歩・走行運動により各人の心拍数と酸素摂取量の関係を求め、この関係を基準にして、下肢の屈伸運動および模擬的なかかえ運搬作業、イチゴ収穫作業において、心拍数と酸素摂取量の関係を考察することにした。

呼吸の採取はダグラスバッグ法で行ない、分析には呼吸ガス連続分析装置（三栄測器製、1H06）を用いた。心拍数は心電図テレメータ（三栄測器製2211A）で測定した。実験の詳細は次の通りであるが、それぞれの作業を開始する前に、5分間の椅座安静状態で、心拍数、酸素摂取量を測定し、安静値とした。

1) 歩・走行運動

トレッドミルによる、30, 60, 90, 120, 150, 180 m

昭和57年3月15日受理

愛媛大学農学部 松山市樽味3-5-7 〒790

Faculty of Agriculture, Ehime University, Tarumi, Matsuyama 790

／min (勾配は0度)の歩・走行運動を行なった。このうち、30, 60, 90 m/minの速度では6分間の運動とし、運動終了前の3分間において平均の心拍数と酸素摂取量を求めた。120, 150 m/minの速度では5分間の運動とし、運動終了前2分間において、また180 m/minの速度では4分間の運動とし、運動終了前1分間において、平均の心拍数と酸素摂取量を求めた。心拍数の記録は運動時間中15秒間隔で行ない、3回の読みの平均値で表わした。

2) 下肢の屈伸運動

登山用の背負子を利用し、無負荷、5, 10, 15 kg 負荷のそれぞれの場合で、起立姿勢からの屈伸運動を行なった。屈伸のテンポは2秒に1回とし、3分間の運動の終了前2分間で、平均の心拍数と酸素摂取量を求めた。なお、測定時間を2分としたのは、呼気の採取時間をできるだけ増すためである。心拍数は15秒間隔で3回読みとり、平均値で表わした。

3) かかえ運搬、イチゴ収穫模擬作業

農作業の現場にみられる両作業を実験室で模擬的に行ない測定に供した。かかえ運搬は、20kg入りのミカン用コンテナを、10m区間で往復運搬することを想定し、速度30m/minのトレッドミ

写真1 イチゴ収穫時の作業姿勢

ル上で20秒ごとに空荷、実荷をくり返した。作業時間は5分、10分とし、それぞれについて5分の作業後回復時間を加え測定した。イチゴの収穫作業は、現地での調査結果に基づき、被験者に片膝立ての姿勢(写真1参照)で、体操用のマット上を2m/minの速度で移動させた。作業時間は5分、10分とし、それぞれに5分の作業後回復時間を加えた。

呼気の採取は、両作業とも作業時、回復時に分けて行なった。また心拍数は、記録計を用い全時間記録した。

第1図 歩・走行運動における心拍数の経時変化

3 結 果

1) 歩・走行運動における心拍数と酸素摂取量

第1図に、速度別心拍数の経時変化の一例を示す。この被験者は、比較的安定な経時変化を示す例であるが、不安定な変化をする例もみられた。この心拍数の経時変化における安定性は、被験者の特性に起因するものであろうが、150m/min 以上においては不安定な例が多く見られた。

第2図 歩・走行運動における心拍数と酸素摂取量の関係

第2図は、得られた心拍数と酸素摂取量の関係である。各被験者とも非常に高い相関 ($r = 0.98 \sim 0.99$) を示したが、回帰係数をみてもわかる通り、回帰直線には被験者により個人差が生じた。図中には、今回の実験で測定された安静値も併せ記入しているが、酸素摂取量の恒常性にもかかわ

らず、心拍数には著しい変動が認められ、少ない被験者では18回/分、多い被験者では32回/分であった。

2) 下肢の屈伸運動における心拍数と酸素摂取量 (歩・走行運動との比較)

第3図に、負荷別心拍数の経時変化の一例を示す。歩・走行運動での例と同一被験者であるが、負荷によって経時変化に明確な差がみられた。他の被験者では、これ程明確な差は認められなかったが、作業法を規制しにくいことが大きな原因のひとつに数えられる。

1) で述べた安静値変動の影響を除去するために、運動時の心拍数、酸素摂取量の値から運動前安静時のそれらを差し引いた値において、歩・走行運動との比較を行なった結果を第4図に示す。図中の回帰直線は歩・走行運動のものであり、両運動による各値は接近して分布するものの、回帰直線に対する屈伸運動の値の偏差はほとんどが負で、屈伸運動の場合は歩・走行運動に比べ、同一心拍数でも酸素摂取量の少ないことがうかがわれる。

3) かかえ運搬、イチゴ収穫模擬作業における心拍数からの酸素摂取量推定値

ここでは、歩・走行運動における心拍数と酸素摂取量の回帰式を利用して、心拍数から酸素摂取量を推定し、実測値との比較を行なった。推定に当っては、1) で述べた心拍数安静値の変動による推定誤差を少なくするため、第2図の結果を基に、心拍数の安静値からの増加分を横軸に用いて第5図の結果を得た。こ

第 3 図 下肢の屈伸運動における心拍数の経時変化

注) HR' : 心拍数の安静値からの増加分

$\dot{V}O_2'$: 酸素摂取量の安静値からの増加分

第 4 図 下肢の屈伸運動における心拍数と酸素摂取量 (歩・走行運動との比較)

の回帰式に、作業時の平均心拍数から作業前安静時の平均心拍数を差し引いた値を代入して、作業中における平均酸素摂取量の推定値を得た。ここで、作業時の平均心拍数は、作業開始後 2 分間の値を除いて算出した。

第 6 図は、両作業における心拍数経時変化の一例 (5 分間作業・5 分間回復) である。作業中の心拍数は、かかえ運搬のほうがイチゴ収穫よりも高いレベルで移行するが、かかえ運搬の場合は、歩行作業による心拍数に、20kg のコンテナ荷重による負荷分が重畳され、規則的な波動現象を示しながら移行するのが特徴である。

第 1 表に、各作業における被験者別の推定値と実測値を示す。誤差は、推定値に対する誤差率で表わしたが、満足すべき値も含まれるものの、バ

ラツキが大きく、全体で平均 14%、標準偏差 14.6% となった。また、各作業における誤差率の平均値をみてもわかるとおり、推定値は実測値より一般に大きく、かかえ運搬、イチゴ収穫作業のような部分的な筋肉の使用あるいは静的な動作を含む作業は、歩・走行運動のように全身的で動的な作業に比べ、同一心拍数でも酸素摂取量の小さいことが予想される。

また、作業時間の、誤差率への影響を調べるために、5 分間作業と 10 分間作業で誤差率の差を検定した結果、イチゴ収穫作業では差は認められな

注) HR' : 心拍数の安静値からの増加分

第5図 歩・走行運動における心拍数の増加分と酸素摂取量の関係

かったが、かかえ運搬作業では、1%の危険率で差が認められた。すなわち、かかえ運搬作業では、時間の経過とともに心拍数のレベルが上昇し、10分間作業では5分間作業より平均心拍数が高くなるが、平均の酸素摂取量には、同様な増加現象がみられないことが原因なのである。

4 考 察

農作業はスポーツなどに比較すると、部分的な筋肉の使用や、動作がゆるやかで静的であることがその特徴に上げられる。また、部分的な筋肉の使用、静的な動作といっても、事務作業や工場でのベルトコンベヤ作業ほどは静的でなく、結構身体を動かす機会が多く、両者の中間に位置するのではないと思われる。ここでは、そういった特徴をもつ農作業において、心拍数と酸素摂取量の関係を考察し、農作業の分野において心拍数から

酸素摂取量を推定する手がかりにしようとした。今回の実験で明らかになったことを交えながら、心拍数から酸素摂取量を推定しようとする場合に障害になる問題点、それに対する対応策を以下に述べる。

1) 心拍数安静値の変動

今回の実験では、多い被験者で32回/分もの安静時レベルの変動がみられ、心拍数の安静値は酸素摂取量の安静値に比べ、著しく変動することが明らかになった。ここでの被験者は実験には充分習熟しており、精神的緊張によるものとは考えられないので、気温、身体運動の有無などの外的条件のほかに、被験者体内における生理的な周期変動などが原因として上げられる。

加えて、今後の検討課題であるが、作業による心拍数の上昇は安静時の心拍数に重畳されることが予想され、作業時の心拍数をもとに酸素摂取量を予測しようとする場合、特に注意しなければならない点である。

2) 心拍数と酸素摂取量の関係にみられる個人差

心拍数と酸素摂取量との間に高い相関関係があることは古くから知られていた。今回の歩・走行運動による実験でも同様な結果($r = 0.98 \sim 0.99$)が得られたが、被験者により回帰直線に差違が生じた。酒井ら^{4,5)}も、心拍数とエネルギー代謝率の関係において、同様な個人差を報告しているが、この個人差は、心拍数による酸素摂取量の推定法を一般化しようとする際に、ひとつの大きな障害になる。

心拍数の代りに心拍数増加率を用いることにより個人差を縮小できるとの説もある²⁾が、酒井ら⁴⁾佐藤ら³⁾の報告によれば、大きな期待はできそうにない。

佐藤ら³⁾は、心拍数による酸素摂取量推定の実用化と推定精度の見地から、心拍数に対する $\dot{V}O_{2\max}$ (酸素摂取量の最大酸素摂取量に対する割合)の回帰直線を利用する提案を行なっているが、この回帰には個人差が極めて少なく、すでに体育分野でも運動処方への応用研究がみられるなど実用性は有望で¹⁾、今後の展開が期待される。

しかしながら、心拍数と酸素摂取量の回帰式を簡単に決定できる手法が確立されるならば、各個

第 6 図 かかえ運搬, イチゴ収穫模擬作業における心拍数の経時変化

第 1 表 酸素摂取量の推定値と実測値の比較

被験者	か か え 運 搬 模 擬 作 業						イ チ ゴ 収 穫 模 擬 作 業					
	5 分 作 業			10 分 作 業			5 分 作 業			10 分 作 業		
	推定値	実測値	誤差率	推定値	実測値	誤差率	推定値	実測値	誤差率	推定値	実測値	誤差率
E.M.	1.049	0.862	17.8	1.103	0.801	27.4	0.969	0.823	15.1	0.969	0.781	19.4
Y.T.	0.743	0.744	- 0.1	0.998	0.718	28.1	0.561	0.466	16.9	0.452	0.509	-12.6
T.H.	0.906	0.914	- 0.9	0.971	0.829	14.6	0.697	0.599	14.1	0.648	0.460	29.0
K.T.	1.186	0.930	21.6	1.565	0.939	40.0	0.858	0.622	27.5	0.959	0.663	30.9
K.U.	0.657	0.700	- 6.5	0.736	0.682	7.3						
H.D.	0.630			0.651	0.716	-10.0	0.588	0.591	- 0.5	0.546	0.481	11.9
平 均			6.4			17.9			14.6			15.7
S.D.			12.5			17.8			10.0			17.6

誤差値 = (推定値 - 実測値) / 推定値 × 100 (%)

人ごとの回帰式を利用した推定が可能になり、個人差の問題は解決される。この考えに基づいた今後の対応も、併せ必要なものとする。

3) 作業種目によって変化する心拍数と酸素摂取量の関係

下肢の屈伸運動、およびかかえ運搬、イチゴ収穫模擬作業において、心拍数と酸素摂取量の関係を歩・走行運動の場合と比較した結果、前者の屈伸運動、かかえ運搬、イチゴ収穫作業の方が、歩・走行運動よりも、同一心拍数に対する酸素摂取量が小さいことを確認できた。同様な、作業種目による特性の変化は、Z. VOKAC ら⁹⁾の、エルゴメーターを利用した足の運動と手の運動のあいだにもみられる。また、心拍数とエネルギー代謝率の関係においては、酒井ら⁵⁾、佐原⁷⁾が同様な傾向を報告している。

心拍数による酸素摂取量の推定法を一般化するには、ここにも障害があるが、対象を農作業に限定して考えれば農作業に適した心拍数と酸素摂取量の回帰式を作製することにより、ある程度の克服は可能だと考える。例えば、比較的ゆるやかな全身動作に部分的な筋使用を加えたような作業で回帰式を作製し、使用することが上げられる。

以上のように、心拍数から酸素摂取量を推定する方法の実用化には、回帰式における個人差および作業種目別の特性が大きな問題になる。これらを解決する方策として、個人差を少なくした一般的な回帰式に基づき、作業種目を限定して推定を行なう方法もあるが、ある分野の作業全般（ここでは農作業）に適応できるような回帰式を、個人ごとに作製し利用する方法も考えられる。

一方、かかえ運搬にみられた、作業時間による誤差率の増加現象など、解明しなければならない点も多い。今後は、農作業に幅広く適応し得るような回帰式を、個人ごとに作製し利用するという立場のもとに、基礎的な実験を積み上げたい。

最後に、今回の実験に協力してもらった、当研究室の専攻生、正岡、高市、橋本、田村、上田、土居の諸君に謝意を表します。

5 引用文献

- 1) 猪飼道夫, 山地啓司 (1971) 心拍数からみた運動強度—運動処方の研究資料として—. 体育の科学 21 (9) : 589—593.
- 2) 沼尻幸吉 (1974) エネルギー代謝と心拍数との相関について. 労働科学 50 (2) : 79—88.
- 3) 佐藤方彦 他 6 名 (1977) 心拍数による酸素摂取量の推定. 人類学雑誌 85 (1) : 23—28.
- 4) 酒井 学, 阿見艶子 (1967) 心拍数とエネルギー代謝率との関係. 農業機械学会誌 29 (1) : 39—41.
- 5) 酒井 学, 阿見艶子 (1968) 心拍数とエネルギー代謝率との関係 (続報). 農業機械学会誌 30 (3) : 180—183.
- 6) 酒井 学, 塩谷哲夫, 瀬川 敬, 金子七五三 (1969) 心拍数からみた牛舎作業の強度. 農作業研究 8 号 : 1—3.
- 7) 佐原伝三 (1973) 乳牛舎における作業姿勢と作業強度の分析. 農業機械学会誌 35 (3) : 299—302.
- 8) SHIMIZU Norinaga, Shoji MAKORO and Kenjiro OKAMOTO (1981) Work intensity during table tennis exercise as measured from heart rate variation. Bull. Univ. Osaka Pref., Ser. B Vol. 33 : 49—60.
- 9) VOKAC Z., H. BELL, E. BAUTZ—HOLTER and K. RODAHL (1975) Oxygen uptake/heart rate relationship in leg and arm exercise, sitting and standing. Journal of Applied Physiology 39 (1) : 54—59.