ステップテストの心拍数を基準にした 農作業強度評価の新指標

金 浩春・林 尚孝・森泉昭治

A New Index to Evaluate Farm Workload by
Using the Heart Rate of Step-stress Test

Haochun JIN, Naotaka HAYASHI and Shoji MORIIZUMI

1 緒 言

筆者らは心拍数（以下HR）を用いた農作業強度の新しい評価法の開発を数年前より行ってきた（Hayashi et al. 1997, 金ら1997, 金ら1998a, 金ら1998b, 関ら1997）。HRは作業強度をよく反映すると同時に、測定が極めて簡便でデータの処理も容易などの長所がある。一方、HRの欠点としては精神的緊張の影響を受けることと、個人間・個人内変動が存在することである。従来、作業強度の評価指標として、HR増加率（安静時基準HR比率）、エネルギー代謝率（RMR）及び単位体重当たり酸素消費量などが一般に用いられている（石川ら1998, 菊池ら1998, 小林ら1991, 小宮ら1996, Mark et al. 1987, 鶴崎ら1997, 山下ら1997, 吉田1997a, 吉田1997b）。しかし、筆者らの研究によると、安静時基準HR比率、RMRおよび単位体重当たり酸素消費量は個人差、個人内変動が大きいことが明らかになりつつある。したがって、これらに代わる新しい作業強度評価の指標が必要と考えた。作業強度とHRとの間にはほぼ直線関係が成立することから（金ら1998b）、同一作業強度においてHRに現れる個人間・個人内変動を較正するためには、基準負荷の導入が有効と考えられる。本研究では、基準負荷として被験者の持久性能力・体力状況を反映すると同時に、装置として簡単なス

テップテストを導入した。

本研究は作業前にステップテストを行い、ステップテスト基準HR比率（作業時HR/ステップテストHR）を求め、その値が作業強度評価の新しい指標になるかを検討するために行った。実施した実験は、1) 運搬作業実験、2) 土移動作業実験の2種類である。これらの実験結果より、ステップテスト基準HR比率は従来の安静時基準HR比率、RMRおよび単位体重当たり酸素消費量より個人間・個人内変動が小さくなり、従来の評価法より優れていることが明らかにになったので、以下に報告する。

2 実験方法

実験の概況を表1に、被験者の条件を表2に示した。表2の被験者記号はアルファベット文字が年齢区分と性別（A：20歳代・女性、B：20～30歳代・男性、C：40～50歳代・女性、D：40歳代・男性）、下付きの数字が被験者番号を表している。基準負荷としてのステップテストは、ステップ高さ30cm、昇降速度20回/分である。本研究では、精神的ストレスの影響を受けにくい（橋本ら1983）とされる酸素消費量（以下 $\dot{V}O_2$ ）も測定し、HRと比較・検討した。

1) 運搬作業実験

本実験では運搬作業を想定し、質量10kgの箱を両

平成11年3月25日受付

平成12年2月17日受理

茨城大学農学部 〒300-0393 茨城県稲敷郡阿見町中央3丁目21-1

School of Agriculture, Ibaraki University, 3-21-1, Chuo, Ami-machi, Ibaraki-ken, 300-0393 Japan

表1 実験の概況

実験場所	茨城大学農学部農業機械学実験室内外
実験期間	実験Ⅰ：1997年 5月15日～ 8月 4日 実験Ⅱ：1997年10月28日～11月10日
気温と湿度	実験Ⅰ：気温22～24℃，湿度50～70％ 実験Ⅱ：気温15～20℃，湿度35～68％
測定項目	心拍数，酸素消費量，呼気量，酸素濃度
供試機器	心拍用テレメータ（NEC MT11） 呼吸代謝測定装置（ミナト医科学 AE-280S） ハートレイトモニタ（バンテージ XL） 携帯型呼気代謝測定装置（ヴァイン VN064） トレッドミル（ミナト医科学 AR-100） 電子メトロノーム（セイコー SQ55） ステップ台：高さ30×幅60×奥行40cm

注）実験Ⅰ：運搬作業実験，実験Ⅱ：土移動作業実験

表2 運搬作業および土移動作業実験における被験者の条件

被験者	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
性別	女	女	女	女	女	男	男	男	男
年齢(歳)	21	21	22	23	25	22	23	29	33
身長(cm)	160	167	166	169	185	184	167	187	173
体重(kg)	54	54	54	57	84	63	63	90	68
被験者	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	D ₁	D ₂	D ₃
性別	女	女	女	女	女	女	男	男	男
年齢(歳)	40	43	44	48	50	57	42	43	48
身長(cm)	157	158	156	154	149	152	166	167	177
体重(kg)	51	53	49	50	48	50	63	74	81

注）上記のアルファベット文字は年齢区分と性別（A：青年・女性，B：青年・男性，C：中年・女性，D：中年・男性），また下付き数字は被験者番号を表している。

手で前に抱えて，傾斜角度8度のトレッドミル上で速度3km/hの歩行（昇り）を5分間行った。実験手順は次の通りである：安静5分－ステップテスト5分－安静5分－運搬作業5分－安静5分－ステップテスト5分－安静5分（以下ではSR1-ST1-SR2-W-SR3-ST2-SR4の記号で表す）。HRは心拍用テレメータ， $\dot{V}O_2$ は呼吸代謝測定装置で測定した。

本実験において表2の20～30歳代の被験者5名（A₅，B₁～B₄）は，個人内変動も調べるため各被験者に対し1日に1回測定で3日間，つまり3反復測定とした。その他の被験者9名（C₁～C₆，D₁～D₃）は1反復測定である。

2）土移動作業実験

本実験は屋外でのモデル実験であり，スコップに

よる5分間の土の移動作業である。各被験者の移動した土の質量に大差が出ることを防ぐために，電子メトロノームにあわせ，スコップの移動速度を20回/分，土の移動距離は1.5mにした。実験手順は運搬作業実験と同様である。ただし，本実験では作業前のステップテスト終了後の安静時間SR2を10分間に延長した。ハートレイトモニタでHRを測定し，携帯型呼気代謝測定装置で呼気量と呼気中の酸素濃度を測定した後，それらの値より $\dot{V}O_2$ を求めた。携帯型呼気代謝測定装置の総質量は2.4kgである。

本実験の場合，被験者13名（A₁～A₄，B₁～B₄，C₁～C₃，C₅，C₆）について1反復測定を実施した。

3 実験結果および考察

1) 運搬作業実験におけるHRと $\dot{V}O_2$ の測定結果

図1は運搬作業実験の1測定例である。運動終了後の安静時 $\dot{V}O_2$ (SR2, SR3, SR4)は、休憩に入ると約3分で最初の安静時レベル (SR1)まで回復している。また、作業前後のステップテスト時の $\dot{V}O_2$ はほぼ同じ値である。それに比べHRは回復が遅く、運動終了後休憩に入っても5分経過しても最初の安静時レベルまで回復していない。更に休憩時のHRはSR2, SR3, SR4の順に、つまり時間経過と共に徐々に高くなっている。また、ステップテスト時のHRは、作業後が作業前より明らかに高い値を示している。これらの結果は、「一般に $\dot{V}O_2$ は運動すればすぐ高まり安静になるとすぐ回復し、HRは神経的興奮の影響を受けるため、強い運動後のHRが安静時レベルまで回復するには30分以上かかる (林ら1990)」と言われていることと一致する。HR、 $\dot{V}O_2$ を経過時間で対比してみると、ステップテストや運搬作業時におけるHR、 $\dot{V}O_2$ の増大傾向はほぼ一致している。作業時のHR、 $\dot{V}O_2$ は両方ともステップテスト時より高い値を示した。

なお、本研究では安静時、ステップテスト及び作業時のHRや $\dot{V}O_2$ を、図1のごとく各状態 (SR1～SR4までの7状態)とも5分間測定しているが、各状態の終了前1分間 (例えばSR1：4～5分、ST1：9～10分)の平均値を求め、それを各状態時の定常値として、以下では使用する。

図2に20～30歳代被験者5名 (A₅, B₁～B₄)の最初の安静、作業前ステップテストおよび作業時のHR

を、図3に40～50歳代被験者 (C₁～C₆, D₁～D₃)の各状態のHRを示した。図2において20～30歳代被験者の平均HRは、安静時68拍/分、ステップテスト時118拍/分、作業時132拍/分であり、運搬作業の方がステップテストより負担が大きい。ステップテストと作業時のHRは、各反復回数ごとの増大傾向がほぼ一致している。例えば、被験者B₁のステップテストと作業時のHRを見ると、いずれも2回目が最も高く、1回目が最も低い。しかし、安静時HRは必ずしもステップテストや作業時HRとその増大傾向が一致しない。

図3の40～50歳代被験者のHRを見ると、図2と同様にステップテスト (132拍/分)より運搬作業 (158拍/分)の方がきつい。図2の20～30歳代のHRに比べ40～50歳代の方がどちらも12～20%高い。なお、被験者C₃の場合、安静時とステップテスト時のHRが他被験者に比べ大きい。これは精神的緊張によるものと思われる。図2と図3より、HRの個人内変動や個人間変動が明確に認められるが、この変動については土移動作業実験の結果と併せて別項で検討する。

図4に20～30歳代被験者5名 (A₅, B₁～B₄)の $\dot{V}O_2$ を示した。これらの被験者の平均 $\dot{V}O_2$ をみると、運搬作業が1,672ml/minで、ステップテスト時の1,414ml/minより大きい値である。この $\dot{V}O_2$ の大小関係は前記のHRの場合と一致している。身体が大きい被験者A₅, B₃の $\dot{V}O_2$ は他より約25%高いが、図2のHRを見ると被験者A₅, B₃は他被験者と比べ高くない。 $\dot{V}O_2$ は消費したエネルギーを表しているため、同じ作

図1 運搬作業実験の測定例 (被験者B₂)

注) SR1～SR4：安静，ST1～ST2：ステップ
テスト，W：作業

図2 運搬作業実験における各被験者のHR

—20～30歳代被験者の測定結果—

注) 各被験者に対する3本の棒グラフは異なる3日間のデータを表している。

図3 運搬作業実験における各被験者のHR

—40～50歳代被験者の測定結果—

図4 運搬作業実験における各被験者の $\dot{V}O_2$

—20～30歳代被験者の測定結果—

注) 各被験者に対する3本の棒グラフは異なる3日間のデータを表している。

業を行っても体重が重い被験者（A₅, B₃）ほど $\dot{V}O_2$ の値は大きくなる。しかし、身体の大きさに比例して心臓も大きく1拍出量も大きいため、上記のごとく被験者A₅, B₃のHRは、それほど高くならなかったものと考えられる。図5に40～50歳代被験者9名（C₁～C₆, D₁～D₃）の $\dot{V}O_2$ を示したが、その平均 $\dot{V}O_2$ は安静時、ステップテスト、作業時のすべてにおいて、先の20～30歳代の平均 $\dot{V}O_2$ より15～18%減となった。この原因は40～50歳代被験者には女性が多く、20～30歳代被験者に比べその身体が相対的に小さいためと推察される。この推察は、身体が大きい被験者D₁～D₃（表2の体重と身長参照）のステップテスト・作業時の $\dot{V}O_2$ が、身体の小さい被験者C₁～C₆の $\dot{V}O_2$ より明瞭に大きいことでも裏付けられる。

2) 土移動作業実験におけるHRと $\dot{V}O_2$ の測定結果

スコップの移動回数を電子メトロノームに合わせ20回/分とするよう被験者に指示したが、実際の作

業のスコップ移動回数は5分間で93～102回（被験者13名の範囲）であり、その移動回数に差が生じた。この移動回数と1回ごとの土移動量のばらつきにより、5分間の土移動量は176～230kgの範囲で、その平均は193kgとなった。

スコップによる土移動作業実験のHR、 $\dot{V}O_2$ の測定結果の一例を図6に示した。本実験では作業時のHR、 $\dot{V}O_2$ がステップテストより低い値である。また、最初のステップテスト後の安静時間（SR2）を10分間に延長した結果、休憩時のHRは最初の安静値（SR1）近くまで回復している。なお、作業前後のステップテスト時のHRと $\dot{V}O_2$ はほぼ同じ値を示した。

図7にスコップによる土移動作業実験のHRを示した。被験者13名の平均HRは安静時80拍/分、ステップテスト時133拍/分、作業時123拍/分であった。被験者B₁を除く他の被験者は、作業時HRの方がステップテストより低い値である。また、HRと同時に測定

図5 運搬作業実験における $\dot{V}O_2$ の測定結果
—40～50歳代被験者の測定結果—

図6 土移動作業実験の測定例（被験者A₂）
注) SR1～SR4：安静，ST1～ST2：ステップテスト，W：作業

図7 土移動作業実験におけるHRの測定結果

した $\dot{V}O_2$ を求めた結果、作業時の平均が856ml/minで、ステップテスト時の1,151ml/minより小さい。したがって、この土移動作業の方がステップテストより生理的負担が軽く、その点では前記の運搬作業とは逆の結果となった。

3) HR, $\dot{V}O_2$ の個人内変動と個人間変動

運搬作業実験における20～30歳代被験者5名の安静時 (SR1)、ステップテスト (ST1) および作業時 (W) のHR, $\dot{V}O_2$ に対し個人間・個人内変動係数を求め、その結果を表3と表4に示した。

表3で各被験者の安静時の個人内変動係数は0.7～5.1%であった。これに対し、個人間変動係数は8.6～13.6%であり、個人内変動に比べ大きな値となった。また、ステップテストおよび作業の両方とも、前記

と同様に個人間変動係数が個人内変動係数より大きな値を示している。作業時のHRにおいて、分散分析法により分析した結果、個人内変動には5%水準で有意差が認められなかったが、個人間変動には有意差が認められた。したがって、HRを用い作業強度の指標を表現しようとする場合、個人間変動を何らかの方法で小さくする方策を追求すべきである。なお、個人間変動を各状態別にみると、安静時がステップテストや作業時より変動が大きい傾向が表れた。

表4の $\dot{V}O_2$ もHRと同様に、個人間変動係数が個人内変動係数より大きい傾向を示している。 $\dot{V}O_2$ の変動係数を安静時、ステップテスト、作業時と比較すると、安静時の変動係数が大きい傾向を示している。また、 $\dot{V}O_2$ はHRより変動が大きいことも認められた。

表3 運搬作業実験におけるHRの変動

項目	個人内変動係数(%)					個人間変動係数(%)		
	A5	B1	B2	B3	B4	①	②	③
SR1	0.7	4.0	4.0	3.2	5.1	10.1	8.6	13.6
ST1	2.3	2.2	3.4	6.2	6.0	7.7	6.1	16.0
W	3.0	3.0	2.2	5.5	3.0	9.3	7.0	12.5

注) ①～③：実験順序, SR1：安静, ST1：ステップテスト, W：作業

表4 運搬作業実験における $\dot{V}O_2$ の変動

項目	個人内変動係数(%)					個人間変動係数(%)		
	A5	B1	B2	B3	B4	①	②	③
SR1	9.3	7.7	13.7	4.8	15.2	17.0	23.0	8.2
ST1	1.7	5.6	3.0	4.9	2.9	15.4	17.7	14.2
W	3.2	4.1	2.7	0.9	1.2	13.4	14.9	12.9

注) ①～③：実験順序, SR1：安静, ST1：ステップテスト, W：作業

これは $\dot{V}O_2$ がHRより身体の大ささとの関連性が高いためである。

土移動作業実験におけるHRの個人間変動係数を求めた結果、安静時が14.2%であり、ステップテスト(11.0%)や作業時(11.8%)より大きい値となった。安静時HRの変動が大きい原因は、安静時HRは各被験者の生理的状态によって決まるから個人ごとに大きく異なること、安静時HRには精神的緊張などの影響が入り込みやすいことなどにあると推察される。

土移動作業実験の $\dot{V}O_2$ の個人間変動係数は、安静時が24.0%で、ステップテスト時の19.8%、作業時の13.6%より高くなっている。

4) 単位体重当たり $\dot{V}O_2$ およびRMR

同じ作業強度でも、それに要する $\dot{V}O_2$ は体重が重い人ほど多くなる(池上1995)から、体格差などを考慮したデータの処理が必要となる。図8に、運搬作業実験における全被験者14名の単位体重当たり $\dot{V}O_2$ を示した。各被験者の単位体重当たり $\dot{V}O_2$ は、ステップテストでは18.4~22.4ml/min·kg、作業時では21.0~26.5ml/min·kgの値であった。被験者14名の個人間変動係数は安静時16.4%、ステップテスト時5.5%、作業時6.6%となり、ステップテストや作業時は安静時の半分以下の値となった。また、上記の被験者を20~30歳代被験者5名と40~50歳代被験者9名に2区分して、単位体重当たり $\dot{V}O_2$ の個人間変動係数を調べたところ、両方ともその個人間変動係数は安静時が最も大きく、次いで作業時、ステップテスト時の順となった。これらの結果は、ステップテストと運搬作業が主に体重の移動作業であることを勘案すると、 $\dot{V}O_2$ が体重に強く関連していることを示唆している。

土移動作業実験における単位体重当たり $\dot{V}O_2$ の個人間変動係数を求めた結果、安静時24.3%、ステップテスト時12.6%、作業時21.3%となった。運搬作業実験と同様に、安静時がステップテストや作業時より個人間変動が大きくなった。しかし、運搬作業実験に比べ作業時の単位体重当たり $\dot{V}O_2$ の個人間変動が著しく大きいのは、これは移動した土の質量差(作業強度の違い)によるものと判断される。なぜなら、土移動作業はステップテストや運搬作業と異なり、体重を移動する動作が少ないから、 $\dot{V}O_2$ は土の移動量の違いによって増減したと考察される。

以上の両実験の結果より、体重を動かす作業が占める割合が大きいほど、体重と $\dot{V}O_2$ の相関関係が強く現れるので、単位体重当たり $\dot{V}O_2$ を農作業強度評価の指標にすることが可能になると思われる。しかし、体重を移動させない作業の場合、単位体重当たり $\dot{V}O_2$ を指標にすると誤差が大きく生じると推察される。

表5に両実験から求めた各指標の計算結果を示した。運搬作業における20~50歳代被験者14名のRMRの個人間変動係数は、ステップテスト時20.8%、作業時17.6%となり、他の指標に比べ個人差が大きい。土移動作業実験における被験者13名のRMRの個人間変動係数は、ステップテスト時20.5%、作業時31.8%となり、運搬作業実験と同じく個人差が大きくなった。RMRは基礎代謝量に対する正味作業代謝量の比であり、基礎代謝量が基準となっている。この基礎代謝量は、主に身長や体重などの要素に基づいて決める(小堀1988)と一般に言われているが、今回は安静時 $\dot{V}O_2$ の83%(池上1995)として基礎代謝量を求めた。また、RMRの算出には被験者の運動状態・能力を反映させた要素は含まれていない。したが

図8 運搬作業実験における単位体重当たり $\dot{V}O_2$

表5 運搬作業と土移動作業実験における各指標の変動

項目		運搬作業実験			土移動作業実験		
		平均	標準偏差	変動係数	平均	標準偏差	変動係数
各種指標							
安静時基準HR比率		2.0	0.20	10.1%	8.1×10^{-3}	0.9×10^{-3}	11.6%
ステップテスト基準HR比率		1.2	0.06	5.4	4.8×10^{-3}	0.2×10^{-3}	4.8
RMR	ステップテスト	5.1	1.06	20.8	6.1	1.2	20.5
	作業時	6.4	1.12	17.6	4.4	1.4	31.8
作業時単位体重当たりVO ₂		24.6	1.58	6.6	15.3	3.0	21.3

注1) 運搬作業実験：20～50歳代被験者14名，土移動作業実験：20～50歳代被験者13名

2) スコップによる土移動作業モデル実験では仕事率を一定にするために，土移動質量1kg当りに換算した。

って，これらのことがRMRの個人間変動係数を大きくしたものと現段階では推察される．一般には同一作業を行った場合，RMRの個人差は小さいと言われているのに対し本実験結果は逆であったので，この点は今後の課題として更に検討を重ねたいと考えている．

5) 安静時基準HR比率とステップテスト基準HR比率
作業強度の評価に多用されている安静時基準HR比率と新指標であるステップテスト基準HR比率を求め，両者の個人間・個人内変動を比較・検討する．

運搬作業実験における20～30歳代被験者5名の安静時基準HR比率，ステップテスト基準HR比率を図9に示した．安静時基準HR比率の被験者5名の個人内変動係数は，2.0～3.1%であった．3反復測定値の個人間変動係数は6.1～8.1%となり，個人差は個人内変動より大きくなった．上記5名の安静時基準HR比率に対して，分散分析法により個人間変動と個人内変動を調べた結果，個人間変動には有意差

(5%水準)が認められたが，個人内変動には有意差が認められなかった．即ち，安静時基準HR比率には個人差が存在する結果となった．

ステップテスト基準HR比率の被験者5名の個人内変動係数は3.4，1.4，1.3，0.8，1.0%であり，3反復測定値の個人間変動係数は1.3～2.5%であった．個人差や個人内変動が安静時基準HR比率に比べ小さくなった．分散分析法により，上記5名のステップテスト基準HR比率に対し，個人間変動と個人内変動を調べた結果，両者とも有意差が認められなかった．つまり，ステップテスト基準HR比率には個人間・個人内変動が存在しない結果となった．なお，運搬作業実験における40～50歳代被験者9名の個人間変動係数は，安静時基準HR比率で11.8%，ステップテスト基準HR比率で5.5%となり，前記と同様な結果を示した．

次に，土移動作業実験の結果を検討する．各被験者が作業時間5分間に移動した土の質量（作業強度）

図9 運搬作業実験における安静時基準HR比率およびステップテスト基準HR比率

注) 20～30歳代被験者5名，各被験者に対する3本のグラフは，異なる3日間の測定値を表している．

が異なるため、作業時HRに個人差が生じるのは当然である。仕事率を一定にするため、各被験者の作業時HRを移動した土の質量で割った単位移動量当たりHRを求め考察する。つまり、ここでは単位移動量当たりHRを安静時HRやステップテスト時HRで割った値を、それぞれ安静時基準HR比率、ステップテスト基準HR比率と呼ぶ。

土移動作業実験における20～50歳代被験者13名の安静時基準HR比率、ステップテスト基準HR比率を図10に示した。安静時基準HR比率の個人間変動係数は11.6%と比較的大きな値を示したが、ステップテスト基準HR比率の個人間変動係数は4.8%と前者に対し半分以下の値である。これらの結果も前記の運搬作業実験とほぼ類似している。

以上の両実験結果から、ステップテスト基準HR比率は安静時基準HR比率より、個人内変動や個人差が小さいと明確に判定される。このステップテスト基準HR比率は、被験者の運動能力を加味した測定値を基準とした点に第1の特徴があり、第2の特徴は精神的影響が入り込みにくい負荷でのHRを基準にしていることである（金ら1998b）。

6) まとめ

以上の諸結果をまとめると、安静時HR、 $\dot{V}O_2$ はステップテストや作業時HR・ $\dot{V}O_2$ より、個人差や個人内変動が大きいと言える。HRや $\dot{V}O_2$ の個人差は個人内変動より大きく、また $\dot{V}O_2$ はHRより個人差や個人内変動が大きいことが認められた。表5に示したようにステップテスト基準HR比率は、従来の作業強度評価の指標である安静時基準HR比率、RMRおよび単位体重当たり $\dot{V}O_2$ などより、個人差や個人内変動が小さく優れていることが明らかになった。したがって、ステップテスト基準HR比率は、作業強度を評価

する新しい指標になり得ると判断してよい。

4 摘 要

本研究の目的は、ステップテスト基準HR比率（作業時HR/ステップテスト時HR）が作業強度評価の新しい指標になり得るかを検討することである。そのために以下の2実験を行った。運搬作業実験：本実験では、質量10kgの箱を両手で前に抱えてトレッドミル上で5分間歩行した。土移動作業実験：本実験では、スコップで土を5分間移動する作業を行った。両実験において、作業前にステップテストを行い、その時のHRを基準にして前記のHR比率を求めた。主な実験結果は次の通りである。

- 1) 両実験において、安静時のHR（または $\dot{V}O_2$ ）の個人差・個人内変動は、ステップテストや作業時より大きくなった。HRの場合、安静値には精神的緊張の影響が入り込みやすい。
- 2) 運搬作業実験において、HR、 $\dot{V}O_2$ の個人差は個人内変動より大きい結果を示した。 $\dot{V}O_2$ はHRより個人差が大きかったが、その原因は体重が $\dot{V}O_2$ に関連するためである。
- 3) 両実験におけるステップテスト基準HR比率の個人間変動係数（4.8～5.4%）は、安静時基準HR比率（作業時HR/安静時HR）の個人間変動係数（10.1～11.6%）より小さい値を示した。
- 4) 両実験における作業時の単位体重当たり $\dot{V}O_2$ の個人間変動係数は6.6～19.4%であった。また、RMRの個人間変動係数は17.6～31.5%となった。
- 5) 以上の諸結果より、ステップテスト基準HR比率は、従来の作業強度評価の指標である安静時基準HR比率、RMRおよび単位体重当たり $\dot{V}O_2$ などより個人差、個人内変動が小さく優れていることが判

図10 土移動作業実験における安静時基準HR比率およびステップテスト基準HR比率
注) 上記のHR比率は土壌の単位質量当たりに換算した値

明した。したがって、ステップテスト基準HR比率は、作業強度を評価する新しい指標になり得ると考察される。

キーワード

心拍数 (HR), 作業強度, ステップテスト, ステップテスト基準心拍数比率, 安静時基準心拍数比率, 酸素消費量 ($\dot{V}O_2$), エネルギー代謝率 (RMR), 単位体重当たり酸素消費量

引用文献

- 橋本邦衛・遠藤敏夫 (1983): 生体機能の見かた, 日本出版サービス, 東京, pp.43-47.
- 林 直亨・中村好男・村岡 功 (1990): 運動強度と心拍変動回復動態との関係, 日本体育学会41回大会講演要旨; 295.
- Hayashi N., S.Moriizumi, H. Jin (1997): A study of the step-stress test as a new type of ergometer - Using heart rate and oxygen consumption rate -, *Proceedings of CIOSTA-CIGR V CONGRESS*; 34-40.
- 池上晴夫 (1995): 運動生理学, 朝倉書店, 東京, pp.104-107.
- 石川文武・菊池 豊 (1998): 農作業快適感構成要素調査結果, 第57回農業機械学会年次大会講演要旨; 135-136.
- 菊池 豊・石川文武 (1998): ナス収穫時の作業姿勢及び心拍数, 農作業研究33 (別号1); 69-70.
- 金 浩春・林 尚孝・森泉昭治・中村克己・関 正裕 (1997): 心拍数による作業強度の評価法—ステップテスト標準化の検討—, 農作業研究32 (別号1); 117-118.
- 金 浩春・林 尚孝・森泉昭治 (1998a): 心拍数を用いた作業強度の評価法—ステップテスト基準による新評価法—, 第57回農業機械学会年次大会講演要旨; 141-142.
- 金 浩春・林 尚孝・森泉昭治 (1998b): ステップテストにおけるステップ高さと昇降速度が心拍数に及ぼす影響, 農作業研究33 (3); 147-153.
- 小林 恭・小野良孝・平藤雅之 (1991): 農作業時の心拍数とエネルギー代謝, 農作業研究第26 (別号1); 51-52.
- 小堀 乃 (1988): 農作業学概論, 農林統計協会, 東京, p.70.
- 小宮道士・川上克己 (1996): 搾乳時の作業姿勢と労働負担に関する研究, 農作業研究31 (4); 249-

256.

- Mark S. Sanders, Ernest J. McCormick (1987): *Human factors in engineering and design*, chapter 8 Human physical activities, McGRAW-HILL book company, New York, pp.210-211.
- 関 正裕・小林 恭・西田初生・高橋仁康・金 浩春・森泉昭治・林 尚孝 (1997): 心拍数を用いた作業負担の評価法(2)—ステップテストと作業負担—, 農作業研究32 (別号1); 119-120.
- 鶴崎 孝・山下 淳 (1997): 傾斜地カンキツ園における運搬システムの労働科学的研究, 農作業研究32 (別号1); 127-128.
- 山下 淳・鶴崎 孝・土井八郎・関野正恭・瀬戸口隆一・猪之奥康治 (1997): 固定刃付き刈り払機刈刃に関する研究 (終報) —作業者の身体負担から見た軽量化固定刃の評価—, 農作業研究32 (4); 243-251.
- 吉田政雄 (1997a): 農業労働の実態把握法(2), 農作業研究32 (3); 201-226.
- 吉田政雄 (1997b): 農業労働の実態把握法(3), 農作業研究32 (4); 279-285.

Summary

The purpose of this study is to develop a new method for evaluating workload by comparing the ratio of working heart rate (HR_w) to the heart rate of the step-stress test (HR_{st}). We carried out two experiments. In the first experiment, the heart rate and the volume of oxygen consumption ($\dot{V}O_2$) were measured while a subject carried a 10kg box at 3 km/h on a treadmill. In the second experiment, HR and $\dot{V}O_2$ were recorded while a subject shoveled 1.7 ~ 2.2kg of soil at a time and moved it about 1.5m.

The results were as follows:

- 1) In both experiments, interpersonal variation and drift (variations in an individual) of the resting HR were larger than those of the step-stress test and work. The HR values in the rest period were easily effected by mental stress.
- 2) In the first experiment, the variations of HR and $\dot{V}O_2$ among individuals were larger than the drift. The interpersonal variation and drift of $\dot{V}O_2$ were also larger than those of the HR.
- 3) The coefficient of interpersonal variation (4.8 ~ 5.4%) of the HR ratio (HR_w/HR_{ST}) based on the step-stress test

was smaller than the coefficient of resting HR (10.1 ~ 11.6%).

4) In both experiments, the coefficients of interpersonal variation for $\dot{V}O_2$ per unit weight in work ranged from 6.6 ~ 19.4%. In contrast, the coefficients of the relative metabolic rate showed large values ranging from 17.6 to 31.5 %.

5) These results prove that the HR ratio based on the step-stress test is much better than conventional indexes for evaluating workload.

Key words:

Heart rate (HR), Workload, Step-stress test, Ratio of working heart rate to resting heart rate, Ratio of working heart rate to step-stress test heart rate, Volume of oxygen consumption ($\dot{V}O_2$), Relative metabolic rate (RMR), Oxygen consumption per unit weight.