

## 間欠運動の酸素摂取量推定に関する研究（第2報）

—— 3日間の日差変動が  $HR-\dot{V}O_2$  回帰式と  $\dot{V}O_2$  推定に及ぼす影響 ——

松 岡 弘 記\*  
孫 泰 烈\*\*

### 緒 言

これまでに、スポーツ活動中の運動量を間接的に推定する方法として、実験室やフィールドで心拍数と酸素摂取量との回帰式を前もって作成しておき、その回帰式にスポーツ活動中に得られた心拍数を代入し、その時の酸素摂取量を推定して運動量を評価することが試みられている。

この手法による運動量の評価は、スポーツ活動が一定の強度で同じペースで定常状態を維持して遂行されるというような運動の場合ならば、酸素摂取量の推定の誤差が少なく<sup>9)</sup>、実際にも広く用いられている。しかし、このような場合は稀であり、多くの場合は運動と休息を繰り返して遂行されており、この手法による酸素摂取量の推定は実測値よりも過大評価され<sup>5,7,8,11)</sup>たり、過小評価され<sup>1,9)</sup>たりしており、この手法の適用については十分な検討がなされていない。

筆者<sup>10)</sup>は、先に、24分間の運動と回復を繰り返す間欠運動において、運動中も回復中も漸増過程で作成した心拍数と酸素摂取量との回帰式を用いた場合（A方式）、運動中は漸増過程で作成した回帰式を用いて、回復中は漸減過程で作成した回帰式を用いて（B方式）各々酸素摂取量を推定することを試みた。その結果、A方式では実測値よりも過大評価し、B方式ではA方式よりもその誤差が少なくなった。また、B方式の間欠運動を運動時と回復時でみると、運動時よりも回復時でその誤差は大きいことが明らかとなり、この漸減過程で作成した回帰式の適用方法については、再度検討する必要性が示

唆された。この研究では、酸素摂取量を推定する際に実測値との間に誤差を生ずる因子としてあげられているところの回帰式作成時の環境温度<sup>5)</sup>、運動様式<sup>1,4,7,13)</sup>、運動時間<sup>9)</sup>、体力レベル<sup>12)</sup>、情緒的興奮レベル<sup>8)</sup>を十分に間欠運動実施日と同じに設定し、これらの因子を可能な限り排除した。しかしながら、この研究では回帰式作成日と間欠運動実施日における心拍数と酸素摂取量との回帰式の再現性について検討していなかった。

これまで漸増過程における最大下作業時の心拍数と酸素摂取量の日差変動については、明らかにされているが、漸減過程における最大下作業時の心拍数と酸素摂取量の日差変動については、筆者の知る限り研究例はない。

そこで本研究は、回帰式作成日と間欠運動実施日との心拍数と酸素摂取量との回帰式の再現性を明らかにすること。さらに、B方式における酸素摂取量の推定にどの程度影響を及ぼし、酸素摂取量実測値と推定値との間の誤差にどの程度影響を及ぼすのかを検討することを目的とした。

### 方 法

本研究の被検者は、健康な男子大学生5名であった。被検者の年齢と身体的特徴を表1に示した。

トレッドミルを用いて歩・走運動からなる最大下運動を被検者に行わせ、心拍数（以下HR）と酸素摂取量（以下 $\dot{V}O_2$ ）との回帰式を作成した。最大下運動は負荷漸増過程（以下漸増過程）と負荷漸減過程（以下漸減過程）の二種類であり、食後3時間経過してから、30分間の座位安静後に漸増過程の最大下運動を被検者に行

\* 愛知大学教養部

\*\* 韓国成均館大学体育学部

表1. 被検者の身体的特徴

	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)
被検者 A	26	175.6	75.0
B	21	167.2	60.8
C	21	169.0	56.6
D	22	173.5	65.2
E	21	174.2	59.8
平均値	22	171.9	63.4
±SD	2	3.6	7.1

させた。その後、被検者を休息させ、3時間経過してから漸減過程の最大下運動を実施させた。

漸増過程の最大下運動は6段階であり、トレッドミル速度は60m/分から始め、4分毎に30m/分ずつ増加させ、210m/分までの24分間の運動であった。漸減過程の最大下運動はトレッドミルの初期速度を210m/分とし、4分毎に30m/分ずつ減少させる24分間の運動であった。間欠運動時の実測  $\dot{V}O_2$  と HR- $\dot{V}O_2$  回帰式から測定した  $\dot{V}O_2$  との比較をするために、1回目の最大下運動実施後、3日後の同一時間帯にトレッドミルで間欠運動を実施させた。間欠運動は4分間運動し、続いて5分間立位で休息し、これを繰り返し、27分間で終了した。トレッドミル速度は最初150m/分で次に180m/分、210m/分であった。さらに、間欠運動実施後、3日後の同一時間帯に2回目の最大下運動を1回目と同様の手順で実施させ、最大下運動で得た HR- $\dot{V}O_2$  回帰式の再現性を検討した。

測定項目はHRと $\dot{V}O_2$ であった。HRは胸部双極誘導法により、HRメモリー(VINE社製)を用いて、運動中に連続して記録した。呼気ガスの採気はダグラスバッグ法により行い、呼気ガスの分析は瞬時呼気ガス分析器(三栄社製)を用いて、酸素と二酸化炭素の濃度を得て、 $\dot{V}O_2$ を算出した。最大下運動時では各負荷段階の最後の1分間の呼気ガスを採気して分析した。HRと $\dot{V}O_2$ の回帰式(以下HR- $\dot{V}O_2$ 回帰式)は各負荷段階の最後の1分間に当たる各々6点のHRと $\dot{V}O_2$ の値から最小二乗法により、直線回帰式を求めることにより得た。また、間欠運動時のHRと $\dot{V}O_2$ の測定は、150m/分で運

動を始めて3分を経過してから1分毎に24分間連続して行った。

1回目と2回目の最大下運動で作成した各々のHR- $\dot{V}O_2$ 回帰式の再現性を検討するために、漸増過程と漸減過程とから各々作成したHR- $\dot{V}O_2$ 回帰式における傾きとY切片の各々1回目と2回目との間の差の検定を行った。

1回目と2回目の最大下運動で作成した各々のHR- $\dot{V}O_2$ 回帰式を用いた24分間の間欠運動における $\dot{V}O_2$ の測定は、以下の三つの方法で行った。I. 運動時も回復時も漸増過程で作成されたHR- $\dot{V}O_2$ 回帰式だけを用いて $\dot{V}O_2$ を推定する方法(以下A方式) II. 運動時は漸増過程で、回復時は漸減過程で作成された各々のHR- $\dot{V}O_2$ 回帰式を用いて $\dot{V}O_2$ を推定する方法(以下B方式) III. 運動時も回復時も漸減過程で作成されたHR- $\dot{V}O_2$ 回帰式だけを用いて $\dot{V}O_2$ を推定する方法(以下C方式)であった。各方式により推定した $\dot{V}O_2$ の1回目と2回目との差を求めた。

## 結 果

最大下運動時の漸増過程と漸減過程の各々1回目と2回目及び間欠運動における環境温を表2に示した。環境温について、1回目と2回目との値に統計的に有意な差( $p < 0.05$ )があったのは、漸増過程の環境温だけであり、その差は0.8℃であった。

漸増過程と漸減過程から作成したHR- $\dot{V}O_2$

表2. 最大下運動時(漸増過程時と漸減過程時)と間欠運動時における環境温

	環境温 (℃)				
	漸増過程		漸減過程		間欠運動
	1回目	2回目	1回目	2回目	
被検者 A	31.0	30.8	31.5	32.0	29.6
B	31.0	29.5	31.5	32.0	31.0
C	30.0	29.5	30.5	31.0	31.0
D	30.0	29.0	31.0	30.5	31.0
E	29.5	29.0	31.0	30.5	32.0
平均値	30.3	29.5*	31.1	31.2	30.9
±SD	0.6	0.7	0.4	0.7	0.8

\* :  $p < 0.05$  (1回目対2回目)

表 3. 漸増過程と漸減過程から作成したHR- $\dot{V}O_2$ 回帰式の傾き及びY切片の1回目と2回目との差

		b (傾き)			a (Y切片)		
		1回目	2回目	有意差	1回目	2回目	有意差
被検者A	漸増過程	0.03033	0.03249	n.s.	-1.442	-1.857	n.s.
	漸減過程	0.03492	0.03561	n.s.	-2.535	-2.624	n.s.
B	漸増過程	0.03124	0.02812	n.s.	-1.893	-1.387	n.s.
	漸減過程	0.03814	0.03633	n.s.	-3.057	-2.994	n.s.
C	漸増過程	0.02613	0.02558	n.s.	-1.264	-1.250	n.s.
	漸減過程	0.03031	0.03216	n.s.	-1.832	-1.987	n.s.
D	漸増過程	0.02328	0.02164	n.s.	-0.867	-0.728	n.s.
	漸減過程	0.02837	0.02652	n.s.	-1.910	-1.557	n.s.
E	漸増過程	0.02240	0.02337	n.s.	-0.749	-0.174	n.s.
	漸減過程	0.03295	0.03169	n.s.	-2.302	-2.218	n.s.

$Y = bx + a$  b : 傾き a : Y切片

表 4. 24分間の間欠運動における $\dot{V}O_2$ 推定値の1回目と2回目との差

	実測値	A方式			B方式			C方式		
		1回目	2回目	差	1回目	2回目	差	1回目	2回目	差
被検者A	35.50	41.45	36.91	-4.54	30.82	29.32	-1.50	26.73	26.33	-0.40
B	32.26	37.43	41.37	3.93	29.33	28.36	-0.97	27.83	24.53	-3.30
C	26.50	32.73	31.90	-0.83	29.59	29.29	-0.30	29.38	30.16	0.77
D	29.79	40.28	39.30	-0.98	31.18	33.15	1.97	28.59	32.22	3.63
E	30.92	39.28	42.58	3.30	29.83	30.97	1.13	28.97	27.78	-1.19
平均値	30.99	38.24	38.41	0.18	30.15	30.22	0.07	28.30	28.20	-0.10
±SD	3.30	3.41	4.23	3.48	0.80	1.89	1.45	1.05	3.05	2.56

数値の単位は  $\ell$

回帰式における回帰式の傾き及びY切片の各々1回目と2回目との間の差の検定結果を表3に示した。1回目と2回目の漸増過程で作成したHR- $\dot{V}O_2$ 回帰式における傾きとY切片については、どの被検者においても1回目と2回目との間に統計的に有意な差 ( $p > 0.05$ ) はなかった。また、漸減過程で作成したHR- $\dot{V}O_2$ 回帰式における傾きとY切片についても、どの被検者の値も1回目と2回目との間に統計的に有意な差 ( $p > 0.05$ ) はなかった。

間欠運動で得られた24分間の合計 $\dot{V}O_2$ の実測値と各方式から得られた各々の $\dot{V}O_2$ の推定値の1回目と2回目の値及びその差を表4に示した。被検者5名のA方式における推定 $\dot{V}O_2$ の1回目と2回目との間の差の範囲は、-11.0%~10.5%であった。また、B方式とC方

式については、各々、-4.9%~6.3%、-11.9%~12.7%であった。さらに、被検者5名の平均値では各方式とも統計的に有意な差 ( $p > 0.05$ ) はなかった。

24日間の間欠運動を運動時と回復時に分けて、運動時は9分間、回復時は15分間の各々の合計 $\dot{V}O_2$ 実測値とB方式における1回目と2回目の推定値及びその差を表5に示した。被検者5名のB方式における運動時の推定 $\dot{V}O_2$ の1回目と2回目との間の差の範囲は、-4.1%~7.2%であった。回復時におけるその差の範囲は、-26.1%~37.3%であった。さらに、被検者5名の平均値では運動時も回復時も1回目と2回目との間に統計的に有意な差 ( $p > 0.05$ ) はなかった。

表5. 間欠運動の運動時及び回復時における推定 $\dot{V}O_2$ の1回目と2回目との差

	運動時 (9分間の合計) $\dot{V}O_2$				回復時 (15分間の合計) $\dot{V}O_2$			
	実測値	1回目	2回目	差	実測値	1回目	2回目	差
被検者 A	24.93	25.03	24.00	-1.03	10.57	5.79	5.33	-0.46
B	22.59	23.54	24.09	0.55	9.67	5.79	4.28	-1.51
C	17.87	18.25	17.89	-0.36	8.63	11.35	11.40	0.05
D	20.43	23.35	22.40	-0.95	9.36	7.83	10.75	2.92
E	20.88	21.10	22.62	1.52	10.04	8.73	8.35	-0.38
平均値	21.34	22.25	22.20	-0.05	9.65	7.90	8.02	0.12
±SD	2.62	2.64	2.53	1.08	0.73	2.32	3.17	1.67

数値の単位は  $l$

### 考 察

本研究は人工気候室内で環境温度を一定にして測定することはできなかった。しかし、最大下運動時である漸増過程と漸減過程の各々1回目と2回目との間に見られた環境温度の最も大きな差は、1.5°Cであった。環境温度の上昇に伴って一定の $\dot{V}O_2$ に対するHRが増加することはこれまでに報告<sup>2,3,14)</sup>されており、その関係は明らかである。本研究でみられた環境温の差がHRへどの程度影響を及ぼすかについて、豊岡ら<sup>14)</sup>の研究データから推定すると1.8拍/分となる。さらに、このHRの差が1回目と2回目のHR- $\dot{V}O_2$ 回帰式に及ぼす影響を推定すると3.0%以内であり、その影響は少ないと考えられた。

これまで漸増過程におけるHR- $\dot{V}O_2$ 回帰式の日内変動や日差変動については、詳しく検討<sup>6,15)</sup>されており、その変動は10%程度であることが報告されている。しかし、漸減過程におけるHR- $\dot{V}O_2$ 回帰式のその再現性についての報告は、筆者の知る限り見当たらない。本研究では漸増過程と漸減過程の各々のHR- $\dot{V}O_2$ 回帰式について6日後の再現性について、1回目と2回目との回帰式の傾きの差及びY切片の差を検討した。その結果、HR- $\dot{V}O_2$ 回帰式の1回目と2回目の傾き及びY切片には各々統計的に有意な差 ( $p > 0.05$ ) がなく、再現性があることが認められた。

本研究では、1回目の最大下運動を行なった3日後に間欠運動を行い、さらに、その3日後

に2回目の最大下運動を行った。即ち、回帰式の作成が間欠運動の測定日よりも早いか遅いかの違いはあるものの、1回目と2回目の回帰式作成日と間欠運動実施日との間は各々3日間であった。したがって、1回目と2回目との間の $\dot{V}O_2$ 推定の差は、回帰式作成日と間欠運動実施日との間の3日間の日差変動としてとらえ、 $\dot{V}O_2$ 推定の再現性としてみることができよう。1回目と2回目のHR- $\dot{V}O_2$ 回帰式を用いて24分間の間欠運動における $\dot{V}O_2$ を推定すると、被検者5名の平均値では各方式とも統計的に有意な差 ( $p > 0.05$ ) はなかったものの、個人によってその差が異なり個人間のバラツキは大きく、各方式によってもその推定の差の範囲は異なった。各方式で個人間の推定の差の最大範囲を求めると、漸増過程の回帰式を用いる (A方式) 場合には±11.0%であり、漸減過程の回帰式を用いる場合 (C方式) には±12.7%となり、運動時に漸増過程の回帰式を用い、回復時は漸減過程の回帰式を用いる場合 (B方式) には±6.3%とA方式やC方式の推定の差よりも小さくなった。このB方式で推定の差が小さくなったことは、運動時と回復時で異なる式を用いることにより、その合計値では推定の差が相殺されたことによるのであろう。このように漸減過程のHR- $\dot{V}O_2$ 回帰式での $\dot{V}O_2$ 推定の3日間再現性は、ほぼ漸増過程の日差変動と同じ程度の推定の差を生ずることが明らかとなった。また、B方式では、今回、その日差変動が±6.3%以内であったものの、この推定方法は実質的にA方式とC方式とを組み合わせた推定方法であ

ることから、A方式やC方式と同じ程度の推定の差を生ずるのではないかと考えられた。したがって、3日間の日差はB方式の $\dot{V}O_2$ 推定に最大で±12.7%の変動をもたらすと考えられよう。

本研究では、HR- $\dot{V}O_2$ 回帰式作成日と間欠運動実施日との間の3日間の日差変動が、 $\dot{V}O_2$ 実測値と $\dot{V}O_2$ 推定値との間の誤差にどの程度影響を及ぼすかを検討した。筆者が前報<sup>10)</sup>で報告したB方式による $\dot{V}O_2$ 推定値と実測値との誤差は、個人間の誤差のパラッキが大きいので、その範囲の最大値を最大の誤差として示すと、24分間の間欠運動においては±13.2%であった。また、間欠運動を運動時と回復時に分けてみると、運動時では±14.3%、回復時では±45.2%であった。前報においても、HR- $\dot{V}O_2$ 回帰式の作成日と間欠運動実施日との間は3日間であった。本研究では、1回目と2回目との間の $\dot{V}O_2$ 推定の差は、B方式では±6.3%であり、運動時と回復時では各々±7.2%、±37.3%であった。本研究でのこの3日間の日差変動は、前報<sup>10)</sup>の $\dot{V}O_2$ 推定誤差を100%としてその占める割合をみると、運動時では50.3%となり、回復時では82.5%である。このように3日間の日差変動が $\dot{V}O_2$ 推定の誤差に及ぼす影響は極めて大きく、無視できないことが明らかとなった。なお、本研究では、HR- $\dot{V}O_2$ 回帰式作成日と間欠運動実施日における $\dot{V}O_2$ 推定の誤差を生ずる因子を可能な限り除いて<sup>10)</sup>検討した。したがって、この3日間の日差変動というものは、 $\dot{V}O_2$ 推定の誤差の大半を反映する因子の一つであることが示唆された。

## 要 約

漸増過程と漸減過程でHR- $\dot{V}O_2$ 回帰式を作成した日と間欠運動実施日との間の3日間の日差が、HR- $\dot{V}O_2$ 回帰式の再現性に及ぼす影響を明らかにすること。さらに、その $\dot{V}O_2$ 推定に及ぼす影響及び $\dot{V}O_2$ 実測値と推定値との間の誤差にどの程度影響を及ぼすのかを検討した。本研究では、1回目の最大下運動（漸増過程と漸減過程から成る）を行った3日後の同一時間

帯に24分間の間欠運動を行い、さらに、その3日後の同一時間帯に2回目の最大下運動を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 漸増過程と漸減過程から作成した各々のHR- $\dot{V}O_2$ 回帰式における傾きとY切片は、どの被検者においても1回目と2回目との間に統計的に有意な差 ( $p > 0.05$ ) はなかった。
- 2) 24分間の間欠運動における $\dot{V}O_2$ 推定値の1回目と2回目との差の範囲は、A方式（漸増過程のHR- $\dot{V}O_2$ 回帰式で推定）では-11.0%~10.5%で、B方式（運動時は漸増過程で、回復時は漸減過程の各々のHR- $\dot{V}O_2$ 回帰式で推定）とC方式（漸減過程のHR- $\dot{V}O_2$ 回帰式で推定）では、各々、-4.9%~6.3%、-11.9%~12.7%であった。
- 3) B方式における運動時の推定 $\dot{V}O_2$ の1回目と2回目との間の差の範囲は、-4.1%~7.2%であった。また、回復時における差の範囲は-26.1%~37.3%であった。
- 4) 3日間の日差が $\dot{V}O_2$ 推定の誤差に及ぼす影響は、B方式における $\dot{V}O_2$ 推定値と実測 $\dot{V}O_2$ との差を100%とすると、運動時では50.3%となり、回復時では82.5%となった。

以上のように漸増過程と漸減過程の各々のHR- $\dot{V}O_2$ 回帰式は6日後に測定しても再現性があることが認められた。一方、間欠運動における1回目と2回目との $\dot{V}O_2$ 推定値の差は、B方式では差が相殺され、他の方式で推定した差より小さくなる傾向であったが、B方式が他の二方式を組み合わせたものであることから3日間の日差は最大で $\dot{V}O_2$ 推定に±12.7%の変動をもたらすと考えられた。この3日間の日差変動は、前報で $\dot{V}O_2$ 実測値と $\dot{V}O_2$ 推定値との間にみられた $\dot{V}O_2$ 推定の誤差の大半を反映する因子の一つであることが示唆された。

## 参考文献

- 1) Ceesay, S. M., A. M. Prentice, K. C. Day, P. Murgatroyd, G. R. Goldberg and W. Scott: 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, 1989
- 2) Dill, D. B. and C. F. Consolazio: Responses to exercise as related to age and environmental temperature. *J. Appl. Physiol.*, 17: 645-648, 1962
  - 3) Fink, W., D. L. Costill and P. J. V. Handel: Leg muscle metabolism during exercise in the heat and cold. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 34: 183-190, 1975
  - 4) 福田明夫, 北村潔和, 山地啓司, 有沢一男: 作業部位 (活動筋量) の相違による  $HR-\% \dot{V}O_{2max}$  直線の変異性。体育の科学, 30: 751-758, 1980
  - 5) 広田広一, 山田保, 中山悌一, 大桑哲男, 井川正治, 北博正:  $HR-\dot{V}O_2$  関係についての一考察, 日本体育大学紀要, 9: 31-38, 1980
  - 6) 生田香明: 負荷テストにおける心拍数の再現性。体育の科学, 26: 785-787, 1976
  - 7) 伊藤稔, 伊藤一生, 北村栄美子, 小川邦子, 前田喜代子: 女子学生の体育実技中の心拍数の変動と運動強度の推定について。体育科学, 6: 65-76, 1978
  - 8) 加賀谷淳子, 柿沼和子, 梶田淳子: 鬼ごっこの運動強度。体育科学, 12: 52-58, 1984
  - 9) 加賀谷淳子: 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, 1986
  - 10) 松岡弘記: 間欠運動の酸素摂取量推定に関する研究—負荷漸減過程で作成した  $HR-\dot{V}O_2$  回帰式からの  $\dot{V}O_2$  推定についての検討—, 愛知大学体育学論叢第3号, 39-45, 1991
  - 11) 森田恭光, 中井誠一, 伊藤孝: ボクシング練習時の消費エネルギー量, 日本体育大学紀要, 13: 59-66, 1984
  - 12) 老月敏彦, 山地啓司, 有沢一男: 心拍数と歩行・走行スピードからみた運動強度, 体育の科学, 26: 680-686, 1976
  - 13) 富田寿人, 玉木啓一, 村岡功: エネルギー消費量推定法の検討, 体力科学, 38: 318, 1989
  - 14) 豊岡示朗, 加藤橋夫, 金子公宥: 持久的作業能と生体反応に及ぼす環境温度の影響。日本体育学会第23回大会号, 1972, p. 141
  - 15) 山川純: 心拍数の再現性。体育の科学, 27: 227-233, 1977