

中高年齢者に対する運動処方の研究

——心拍数から消費カロリーを推定する方法の開発——

中京大学	山本高司
(共同研究者) 同	朝比奈一男
同	藤松博
同	北川薫
同	真鍋篤広
中日新聞社	塚田直和
同	小島達也

I. 緒言

心拍数 (HR) と酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) の関係式を用いて, HR から消費カロリーを推定することができるが, これには, 定常状態の成立していることが前提条件となっている. しかし, 日常活動は, 運動の強度と時間の両面で相異なる運動が無数に集まって構成されていると考えられ, 心拍反応も非定常状態を示す時が少なくない.

本研究では, このような非定常状態での心拍間隔のヒストグラムを求めることによって, 心拍数から酸素消費量, ひいては消費カロリーを推定し, 中高年齢者の運動処方に役立てようとするものである.

II. 方法

A) 被検者

被検者は, 中京大学体育学部の健康な男子学生 5 名であり, 日常規則的なトレーニングを行っていない者であった.

表 1 に, 被検者の身体的特徴を示した.

表 1 被検者の身体的特徴

Subj.	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)
MTO	22.8	176.5	71.0
NKJ	20.9	174.4	65.3
KTS	22.2	166.5	68.2
WTN	22.8	170.0	59.0
MNB	22.3	175.6	63.4
Mean S.D.	22.2 0.8	172.6 4.2	65.4 4.6

B) 環境条件

測定は, 中京大学体育学部運動生理学研究室で 4 日間にわたって行われた. 測定時の室内環境は, 温度 $21.0 \pm 1.2^\circ\text{C}$, 湿度 $49.5 \pm 4.2\%$, 気圧 $753.3 \pm 1.8\text{mm Hg}$ であった. 各被検者は, まず, 負荷漸増法による HR と $\dot{V}O_2$ の関係式を求めるための測定を行い, 2 日後に, 心拍反応が非定常状態を示すような運動 (以下「非定常運動」と略記) 時の HR と $\dot{V}O_2$ の測定を行った.

C) 運動負荷法

(1) HR- $\dot{V}O_2$ の関係式を求めるための運動負荷法 (測定 I)

被検者には、安静時の測定 2 時間前に食事をとらせた。そして、運動負荷に先立ち、30 分間の椅座位安静をとらせ、最後の 5 分間に安静時の HR と $\dot{V}O_2$ を測定した。その後、直ちに、最大下運動負荷時の測定を行った。運動負荷には自転車エルゴメータ (Monark 社製) を用いた。ペダルの回転数は毎分 50 回とした。最初、150kpm/min の負荷で 4 分間自転車をこがせ、その後、4 分ごとに 150kpm/min ずつ漸増し、1050kpm/min まで 7 段階の負荷を 28 分間連続して与えた。各負荷での最後の 1 分間に HR および $\dot{V}O_2$ の測定を行い、各負荷での測定値とした。

(2) 「非定常運動」時の HR と $\dot{V}O_2$ の測定 (測定 II)

測定 I と同様の手順で、安静時の値を求めた。その後、測定 I と同じ自転車エルゴメータを用い、毎分 50 回のペダル回転数で、以下のような運動を負荷した。最初、600kpm/min を負荷し、引き続いて 450, 750, 300, 900, 150, 1050 kpm/min の 7 種の負荷を順にそれぞれ 1 分間、合計して 7 分間連続して与えた。運動終了後には、直ちに、椅座位安静をとらせた。HR および $\dot{V}O_2$ は、運動中、回復期のすべてにおいて連続的に測定した。

D) 「非定常運動」時および回復期の酸素消費量の算出法

測定 II の HR を磁気テープに記録し、シグナルプロセッサ (7T07A 型) を用いて、心拍間隔のインターバルヒストグラムを得た。インターバルヒストグラムは、運動時の 7 分間、回復期の最初の 5 分間 (0'~5'), 回復期の次の 5 分間 (5'~10') について得た。次に、あらかじめ定常状態の成立する運動を漸増法で負荷して求めた HR- $\dot{V}O_2$ 関係式を上述の心拍間隔ヒストグラムに代入して推定の酸素摂取量の総和および消費カロリーを求め、実測値と対応させた。

III. 結 果

A) 各個人別 HR- $\dot{V}O_2$ 関係式

表 2 は、漸増負荷法によって求めた HR と $\dot{V}O_2$ の回帰式を示したものである。いずれも、高い直線性を有している。

B) 「非定常運動」時における酸素消費量、消費カロリーの实測値と推定値の比較

表 3 は、運動中 (7 分間) および回復期 (最初の 5 分間) の酸素消費量と消費カロリーの实測値および推定値を示したものである。表の上段の数字が実測値であり、下段が推定値である。

表 2 心拍数と酸素摂取量の回帰式

Subj.	β_0	β_1	β_2	r	p<
MTO	-3.001	0.051	-0.000	0.993	0.01
NKJ	-1.173	0.020	0.000	0.993	0.01
KTS	-1.692	0.033	-0.000	0.992	0.01
WTN	-0.918	0.013	0.000	0.988	0.01
MNB	-0.772	0.017	0.000	0.996	0.01

$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2$

Y : $\dot{V}O_2$, X : HR

表3 直接法および間接法から求めた酸素摂取量の比較

Subj.	Exercise (7')		Recovery (5')		Indirect/Direct (%)
	(l/min)	(l/min)	(l)	(kcal)	
MTO	1.37	0.57	12.43	62.1	91.4
	1.12	0.71	11.76	56.5	
NKJ	1.35	0.56	12.27	61.4	98.4
	1.24	0.68	12.07	60.4	
KTS	1.31	0.57	12.02	60.1	125.3
	1.45	0.98	15.06	75.3	
WTN	1.29	0.55	11.75	58.8	96.3
	1.09	0.74	11.31	56.6	
MNB	1.18	0.56	11.05	55.3	106.0
	1.16	0.72	11.71	58.6	
Mean (S.D.)	1.30	0.56	11.90	59.6	103.5
	(0.07)	(0.01)	(0.54)	(2.7)	
	1.21	0.77	12.30	61.5	
	(0.14)	(0.12)	(1.57)	(7.9)	(12.28)

Upper : Measured value
 Lower : Estimated value
 Total O₂ = (Exercise 7' + Recovery 5')
 Indirect/Direct = Total O₂ (Indirect) / Total O₂ (Direct)

5名の平均値でみると、運動中の $\dot{V}O_2$ は、実測値が1.30l/min、推定値が1.21l/minで、推定値のほうが幾分小さかった。これに対して、回復期の $\dot{V}O_2$ は、実測値が0.56l/min、推定値が0.77l/minで、推定値のほうがやや大きかった。運動中(5分間)と回復期(最初の5分間)の酸素消費量の総和では、実測値が11.90l、推定値が12.30lと近似していた。これを消費カロリーに換算する¹⁾と、実測値の場合が59.6kcal、推定値の場合が61.5kcalであった。実測値を100%とした時の推定値の割合を求めると、103.5%であった。

IV. 論 議

1) HR- $\dot{V}O_2$ 回帰式について

運動時のHR- $\dot{V}O_2$ 関係式は、非常に高い直線性を示した。しかし、1日24時間の生活時間の中では、睡眠や横臥位などの極めて活動レベルの低い時間が少なからず存在する。その最も低い活動レベルが、睡眠代謝と言われるものであろう。安静時といっても、エネルギー消費の最も低いもの

から比較的高いものまで種々ある。運動時の回帰式をそのまま下方へ外挿すると、Yが負になってしまう。これは不合理なことであり、このようなことはあり得ない。すなわち、椅座位安静よりも低いHRを示した場合は、たとえば、椅座位安静の値と基礎代謝の値を結んだ関係式を用いて、対応する $\dot{V}O_2$ を求めべきであろう。そして、椅座位安静値は、安静領域と運動領域の変曲点に当たると考えられる。

今後、運動時の種々のレベルにおけるHR- $\dot{V}O_2$ 関係式と同様に、安静時の種々のレベルのHR- $\dot{V}O_2$ 関係式を求める必要がある。

2) 推定式の適用範囲

本実験では、「非定常運動」時において、150kpm/minから1050kpm/minまでの負荷を混合して1分間ずつ、合計7分間負荷した。この時の $\dot{V}O_2$ の実測値と推定値を比較すると、運動時には推定値が実測値よりもやや小さめに、回復期には推定値が実測値よりもやや大きめに出る傾向があった。これの原因としては、まず第1に、各運動負荷の持続時間を1分間としたために、O₂

deficit が発生し易くなり、この O_2 deficit を運動後に回復する必要があることである。また、最後の負荷は 1050kpm/min であり、この時の漸増法における HR は毎分 174~200 拍であり、max にやや近いものである。特に、被検者 KTS においては 200 拍まで上昇し、1050kpm/min という負荷は KTS にとって max に近いものであった。したがって、KTS の回復期の $\dot{V}O_2$ は特に高くなって、推定値 (125.3%) を押し上げたものと考えられる。KTS を別にすれば、実測値に対する推定値の割合は $98.0 \pm 6.1\%$ となり、推定値は極めて実測値に近いものとなる。Rodahl たち²⁾ は、実測値と推定値の差異は $\pm 15\%$ 以内であることを報告している。本実験の運動時間は 7 分間と極めて短い時間内で得られた結果であるが、運動時間をもっと長いものにすれば、推定値は実測値に、より近づくものと考えられる。

今後、裏付け資料として、運動期と回復期における心機能および代謝過程の差異も検討する必要がある。

V. 要 約

健康な男子大学生 5 名を被検者とし、自転車エルゴメータによる負荷漸増法で求めた $HR-\dot{V}O_2$ 回帰式は、非常に高い直線性を示した。

次に、「非定常運動」時の HR から心拍間隔のヒストグラムを求め、漸増法によって求めた $HR-\dot{V}O_2$ 関係式を代入して推定の酸素消費量を求めた。これを実測値と比較すると、運動時には推定値がやや小さめに、回復期には推定値が大きめになった。しかし、運動時と回復期の総和の酸素消費量あるいは消費カロリーで比較すると、実測値を 100% とした時、推定値のほうが 103.5% となり、推定値と実測値とが近似していた。

今後、睡眠時などの極めて活動レベルの低い時の $HR-\dot{V}O_2$ 関係をはじめとして、種々の安静レベルにおける $HR-\dot{V}O_2$ 関係が明らかになれば、比較的高い精度で、HR から 1 日の消費カロリーの求められることが示唆された。

文 献

- 1) Harper, H.A., V.W. Rodwell and P.V. Mayes : ハーパー生化学 (三浦義彰監訳), 17版, 丸善, 1980.
- 2) Rodahl, K., Z. Vokac, P. Fugelli, O. Vaage & S. Maehlum : Circulatory strain, estimated energy output and catecholamine excretion in Norwegian coastal fisherman. *Ergonomics*, 17: 585-602 (Åstrand, P.-O. and K. Rodahl : *Textbook of Work Physiology*. 2nd ed. McGraw-Hill, 1977. より引用)