

# Åstrand の推定法による最大酸素摂取量の 測定誤差とその増大要因

## Errors of estimation of max $\dot{V}O_2$ as predicted by the Åstrand Bicycle Ergometer Test and the factors of their increase

神 山 雄 一 郎

Yuichiro Kamiyama

### はじめに

最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$  max) は、健康度の指標として定着し、その有効性については数多く論じられているが、その測定法に関しては、瞬間ガス分析器等の改良により、時間的な短縮は見られるものの、まだまだ、健康診断や健康チェックに簡便に利用できるという状態には致っていない。特に、高令者や、運動不足からくる成人病者（虚血性心疾患、高血圧、動脈硬化症、糖尿病、肥満症等）にとっては、最高負荷を与えなければ測定できない現在の測定法（直接法）は、安全性の面でも欠けていると言わざるを得ない。

一方、運動不足病とまで言われている多くの成人病患者、及び、その予備軍（半健康人）にとって運動は、やればやるほど良いというものではない。その種目、強度、期間、頻度といったものをきめ細かく、慎重に選択し実施する必要があるが、この選択を誤ると悪化する恐れがあるばかりでなく、死という危険性をも孕んでいるという事を十分認識しなければならないであろう。即ち、換言すれば、その個人にとって、その時々、最適な運動量というものがあり、運動療法を実施するに当っては、その運動量を処方することが決め手となる訳である。しかし、それを処方する場合には、どうしても、その個人の最大値を知る必要がある、ここに問題を生じていた。

この解決策として、「心拍数と酸素摂取量は1次回帰により、かなり高い相関を示す」「最高心拍数に達した時、酸素摂取量も最大となる」という二つの事実に基づき、最大下運動を実施し、その値から最大値を推定するという間接法が考えだされた。

間接法による  $\dot{V}O_2$  max の推定方法は、I. Åstrand<sup>2)</sup> の他、Margaria<sup>16)18)21)</sup> らの方法や、Cooper<sup>7)20)</sup> の予測される最高心拍数を利用する方法等もあるが、現在、I. Åstrand<sup>15)17)25)26)</sup> の方法が比較的多く用いられているようである。

今回の報告は、この I. Åstrand の推定法を女子大生、及び、中高齢者（半健康人を含む）に対して実施した場合の誤差の許容範囲、及び、特に著しく推定誤差が増大した場合のその要因について検討を加えたものである。

### 方 法

直接法と間接法の二者の比較では、その測定誤差は、どちらが大なのか判断することはできない

ので今回は、12分間走を加え、三者間で比較を行なった。また、一つの集団のみで増大要因を断定することは危険であると考え、異なった集団に対しても、同じメジャーを用いて増大要因について比較検討を行ない、両者に共通の要因を模索した。

(1) 被検者

被検者としては、測定方法の種類により違いはあるが、次の三つの group を対象とした。

group 1 : 直接法, 間接法, 12分間走を実施した健康なK大及びG大の女子学生30名。

(検討の基礎データとなった group)

group 2 : 直接法, 及び, 間接法の測定を実施した中高年者(半健康人を含む) 27名。

(この group は検討の基礎及び対象のデータの両方に利用した)

group 3 : 間接法, 及び, 12分間走を実施したK大の女子学生 276名。

(この group は, 対象データとして利用した)

それぞれの group における身体的特性は表 1 に示した通りである。

表 1 group 別の被検者の身体特性

		age (yr)	height (cm)	Weight (kg)	%Fat (%)
<b>group 1</b>					
(n=30)	mean	19.6	159.4	54.2	20.1
	S. D.	1.27	6.28	7.10	5.70
	Max	22.0	171.0	70.0	36.1
	Min	18.0	148.1	39.5	11.3
<b>group 2</b>					
(n=27)	mean	52.6	148.9	55.6	32.2
	S. D.	7.14	7.41	8.40	12.71
	Max	64.0	169.0	74.9	52.5
	Min	34.0	137.4	40.1	11.8
<b>group 3</b>					
(n=276)	mean	18.9	157.8	51.8	25.2
	S. D.	0.81	5.15	6.08	5.79
	Max	22.0	169.5	75.1	42.2
	Min	18.0	143.0	37.5	14.6

(2) 測定方法

(a)  $\dot{V}O_2$  max (直接法)

モナーク社製自転車 ergometer を使用し、負荷漸増法によって測定した。回転数は、50rpm とし、warm-up の後、1 kp 或いは 1.5 kp の負荷から始め、4分毎に負荷を 0.5 kp 増し、12分以後は、1分毎に 0.25kp ずつ増し exhaustion まで続けさせた。呼気ガスは、各負荷毎に最後の1分間ダグラスバックに採集し、ガスメーターで計量後、三栄測器社製瞬間ガス分析器、或いは、ショランダー微量ガス分析器により分析を行なった。心電図は、胸部双極誘導法により、各分毎の最後の15秒間連続記録し、R-R 間隔から心拍数を求めた。

(b)  $\dot{V}O_2$  max (間接法)

モナーク社製自転車 ergometer を使用し、定常状態に入るような一定負荷(心拍数120~170拍/分)で6分間の運動を行なわせた。回転数は、50rpm とし、充分 warm-up をさせた後実施した。その間、直接法の時と同様、胸部双極誘導により心電図を記録し、心拍数を求めた。そして、I. Åstrand の判定表<sup>2)</sup>により定常時の心拍数から  $\dot{V}O_2$  max を推定し、年齢補正を行なった後、

体重当りの値を算出した。

(c) 12分間走

12分間走は、K大学300mトラック、G大学400mトラックのいずれかを使用し、二人一組となり、一人が走り、もう一人がその距離を測定するという方法を採用した。また、その中から無作為に数名を抽出し、竹井器機製心拍メモリーを装置させ、12分間走中の心拍数を記録し、負荷の程度を確認した。

(d) 体脂肪率

体脂肪率は、上腕部、肩甲骨下部の皮下脂肪厚をキャリパーにより測定し、それを Nagamine<sup>19)</sup>らの式に基づいて推定された体密度を Brozek<sup>5)</sup>らの式に代入し算出した。

結 果

表2 group 別の12分間走及び最大酸素摂取量の測定結果

	12 min run (m)	$\dot{V}O_2$ max (ml/kg min)	esti $\dot{V}O_2$ max (ml/kg min)
group 1			
mean	2,495	42.90	43.14
S. D.	249.6	7.052	6.507
Max	3,075	60.61	59.29
Min	1,839	31.30	30.58
group 2			
mean	—	27.10	26.64
S. D.	—	5.769	6.076
Max	—	38.40	39.70
Min	—	13.30	15.90
group 3			
mean	2,135	—	41.64
S. D.	182.8	—	7.636
Max	2,600	—	62.83
Min	1,600	—	27.17

表2は、それぞれの group の12分間走、直接法、及び、間接法の測定結果を表わしている。group 2は12分間走を、group 3は直接法を実施していない。それぞれの group 内及び group 間において、平均値の有意差検定を行なったところ、group 1及びgroup 2のそれぞれの group 内における直接法と間接法の間には、有意な差は認められなかった。また、group 間による検定においては、group 1とgroup 3の間接法の平均値の間にも有意な差は認められなかった。しかし、group 1とgroup 3の12分間走、group 1とgroup 2の間の直接法、及び、間接法、group 2とgroup 3の間接法の間には、有意な差が認められた。これは、group 2は、group 1及びgroup 3に比べて年齢構成がかなり高いこと、group 3の12分間走は、平均値付近に大多数の者が集まり過ぎ、標準偏差の値を小さくしたことが原因であると考えられる。

(1) 12分間走と $\dot{V}O_2$  max (直接法) の相関

図1は、group 1における12分間走と $\dot{V}O_2$  max (直接法) の関係を示したものである。相関係数は0.814 ( $p < 0.001$ ) となり、筆者らの前回の報告とかなり近い値を示したが、Doolittle (0.90) や浅見<sup>1)</sup> (0.87) の値には及ばなかった。図中の回帰直線 (実線) は、 $y = 0.02302x - 14.52$  ( $y$ : 体重当りの $\dot{V}O_2$  max,  $x$ : 12分間走の走行距離) であり、破線は、体育科学センターの健康づくり運動カルテより推定した回帰直線である。両回帰直線を比較すると、傾きはほぼ同じであったが、

今回算出した回帰の方が、 $\dot{V}O_2 \text{ max}$  にして約 2~4 ml 程度低い値を示した。

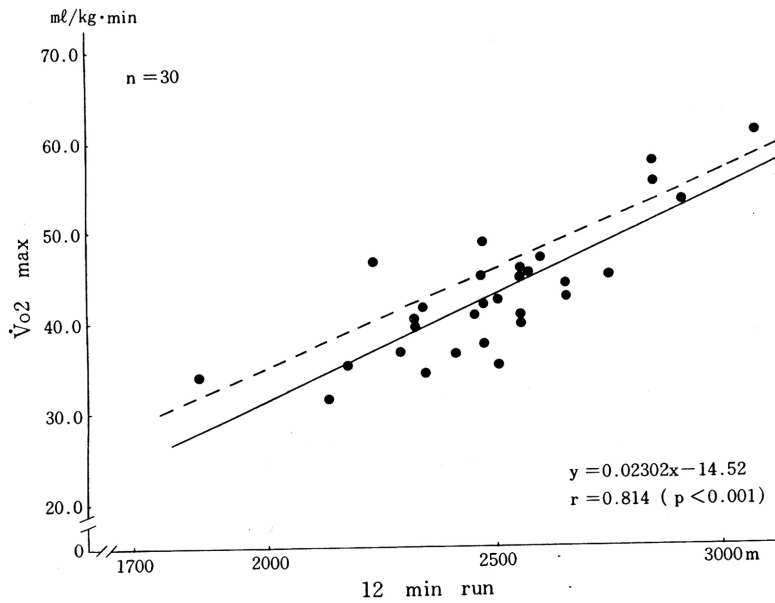


図1

(2)  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  (直接法) と (間接法) の相関

図2は、 $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の直接法と間接法の関係を示したものである。図2の (●) はgroup 1 (女子学生) の値を、(○) はgroup 2 (中高年者) の値を表わしている。相関係数は、group 1 のみ

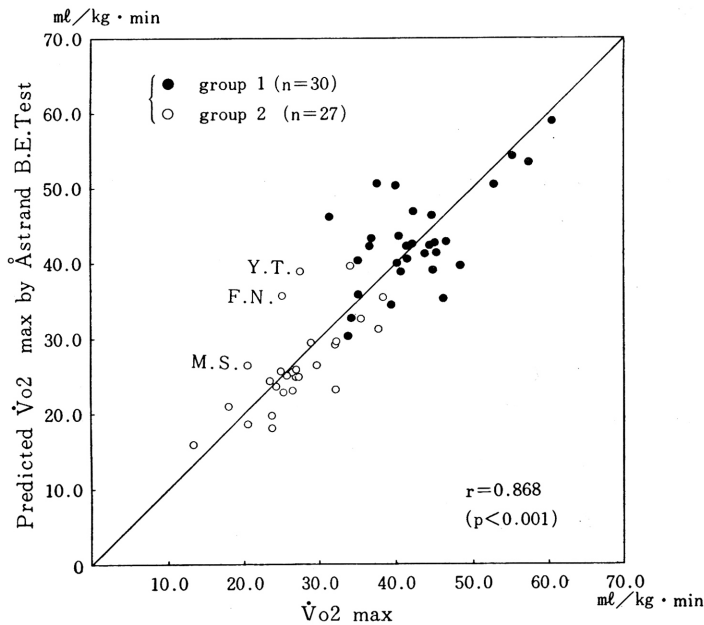


図2  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  (直接法) と Åstrand の推定法によって得られた  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  との関係 (group 1, group 2)

(●) 0.628, group 2 のみ (○) 0.687, group 1 と group 2 を合わせたもの 0.868 となり、全て 0.1% 水準で有意な相関となった。特に group 1 と group 2 を合わせた値はかなり高い相関となり、女子大生、中高年者を問わず、同じノモグラムで推定できる可能性が示唆された。

(3) 12分間走と推定  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  (間接法) の相関

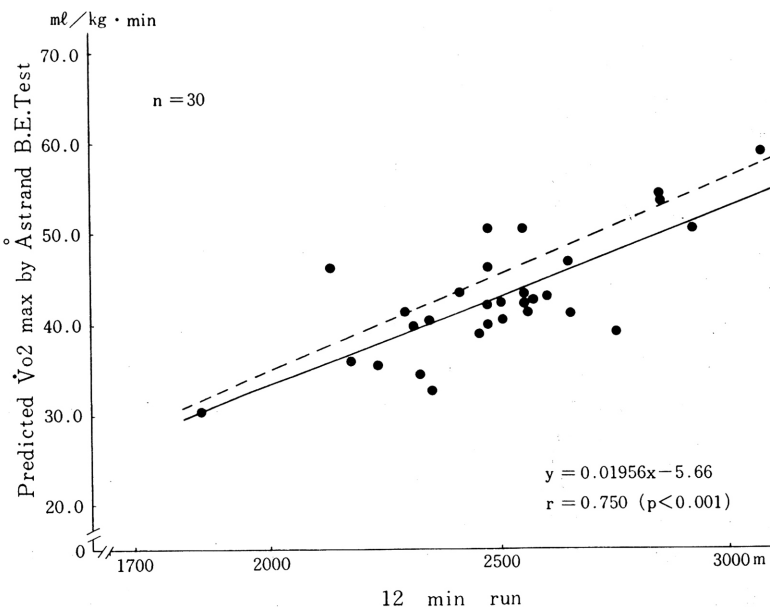


図3

図3は、group 1 における12分間走と推定  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  (間接法) の関係を示したものである。相関係数は0.750 ( $P < 0.001$ ) となり、かなり高い値を示したが、12分間走と直接法の相関(図1)には及ばなかった。図中の回帰直線は、 $y = 0.01956x - 5.66$  ( $y$ : 体重当りの推定  $\dot{V}O_2 \text{ max}$ ,  $x$ : 12分間走の走行距離) となった。破線は図1と同様、体育科学センターによる推定回帰直線<sup>24)</sup>である。両回帰直線を比較すると、傾きはほぼ同じ、 $y$ の値にして約1.5~3.5ml程度、今回の回帰の方が低い値を示した。

また、group 3 における12分間走と推定  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  (間接法) の相関係数は0.436となり、0.1%水準で有意な相関となった。回帰直線は、 $y = 0.01822x - 2.74$  ( $y$ :  $x$ : 図3と同様) となり、今回算出した3本の回帰直線の内、最も傾きが小さくなった。そして、体育科学センターによる推定回帰直線と比較すると、今回の測定範囲内では、ある一定の  $x$  の値(12分間走値)に対して、 $y$ の値( $\dot{V}O_2 \text{ max}$  値)は、group 3 による回帰の方が、約2~5ml程度高く出るといった結果になった。これは、今回算出した他の二本の回帰が低く出る傾向を示したのとは、反対の傾向となった。

考 察

(1) 推定  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  による誤差

直接法による  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の測定が Best であることに間違いはないが、これも exhaustion に達したと判断するのは本人の場合が多く、本人の意志の問題が大きく影響される。従って、本当に  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  に達したかどうかは、本来、leveling off によって確認されなければならない。しかし、中高年者や、半健康人、及び、殆んどトレーニングをしていない者に対して実施した場合、leveling off まで追い込むことは、かなり難しいと言える。従って、leveling off が確認されない場合、心拍数の最高値によって判断することになるが、特に、前述した者のような場合には、

年齢や個人差による違いが大きいと考えられ、本当に  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  達したかどうかは確認できない。

また、自転車 ergometer による  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の測定の場合には、トレッドミルによるその場合より、10~15%低くであると Åstrand らは述べており、<sup>4)</sup>ここでも最大値の決定という点に関しては疑問が残る。

以上のことより、中年者や半健康人、及び、殆んどトレーニングをしていない者に対して自転車 ergometer で測定した場合には、 $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の値は、多少低く出る可能性があると言える。

一方、間接法による  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の測定に関しては、推定ノモグラムの正確性という問題が最も重要であろう。<sup>8)</sup><sup>11)</sup><sup>12)</sup>Davies, 石井, 伊藤らは、10%前後の誤差は間接法である限りやむを得ないであろうと報告している。そして、今回採用した Åstrand の推定法<sup>2)</sup>に関しては、負荷が軽過ぎ或いは重過ぎて、心拍数が120~170 拍/分の範囲を逸脱した場合、範囲内であっても定常状態を形成したかどうか確認が困難な場合、心電図異常者、及び、<sup>1)</sup>薬物服用による心拍数の上昇制限といった場合等は、初期から推定誤差を大きくするであろうと予測された。

また、12分間走は、有酸素能力を表わす指標として認められており、<sup>23)</sup><sup>22)</sup>Stewart, Sparling, 平川<sup>10)</sup>らは、 $\dot{V}O_2 \text{ max}$  を含む複数の独立変数に対して、12分間走距離を従属変数とした重回帰分析を行ない、<sup>10)</sup>どの他の変数よりも  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の寄与率が最大であるとし、平川らは  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  で約70%は説明できるとしている。今回の結果でも、12分間走と  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  (直接法) の相関は、 $r = 0.814$  と非常に高かった。<sup>14)</sup><sup>6)</sup>katch や Burris も女子学生を対象にし、それぞれ、0.67, 0.74という相関を出しており、12分走からも  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  を推定できると考えられる。

以上のことから、今回は、12分間走と  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  (直接法) の回帰直線 (group 1 の結果より算出したもの) を用い、12分間走からも  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の推定を行なった。図4は、その結果と間接法

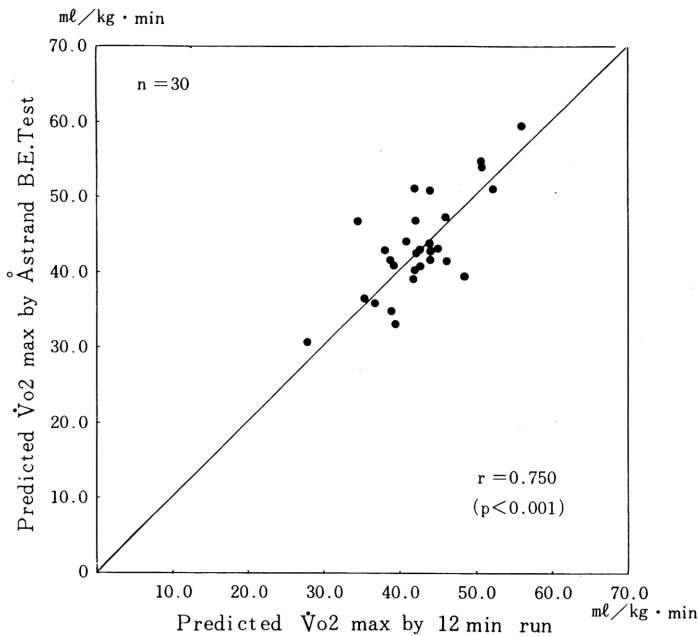


図4 12分走の走行距離から推定された  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  と Åstrand の推定法によって得られた  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  との関係 (group 1)

によるものとの相関を見たものである。12分走から推定された  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の平均値及び標準偏差は、 $42.91 \pm 5.745 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$  であり、直接法によって得られた平均値とほぼ同じであった。この値と間接法によって得られた  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  との間で平均値におけるT検定を行なったところ有意差は認められなかった。

次に、この精度を検討するため測定誤差を算出した。図4に示された値の誤差の範囲は0.2—34.3%，平均7.9%であった。またgroup 1における直接法と間接法の値の測定誤差範囲は0.3—48.0%，平均10.7%，group 2におけるその測定誤差範囲は1.6—42.6%，平均13.5%，group 1にgroup 2を加えた57名では、平均値は12.1%となった。これは、Åstrand らの、誤差は7—15%の範囲であるという報告を平均値としては追認する形となった。やはり、10%前後の測定誤差はやむを得ず、許容範囲と見なければならぬであろう。

(2) 推定誤差が増大する要因

group 1 及び group 3 について、12分間走と  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  (直接法) の回帰直線 (group 1 より算出) を用い、12分間走の走行距離から  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の推定を行なった。そして、その値が間接法により求めた推定  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  と10%以内の誤差であった者は、測定誤差範囲内として除外、残りの者について検討を行なった。表3は、その人数と誤差の範囲を示している。

表3 12分間の走行距離から推定した  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  に対して Åstrand の推定法により求めた  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の測定誤差が±10%以上となった人数とその誤差範囲

		10% < y	-10% > y
<b>group 1</b>			
n (人)		5	4
range (%)		10.1 — 34.3	11.1 — 19.6
<b>group 3</b>			
n (人)		195	15
range (%)		10.1 — 70.4	10.5 — 21.1

y: errors of estimation

group 3 に関しては、間接法による推定値が著しく大きく出た場合が圧倒的に多く (全体の70.6%)、範囲も大きくなってしまった。この人数及び範囲に著しい差が出た理由としては、今回基本とした  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  は、12分間走から推定したものであり、最大値に近い値である可能性は高いが、最大値を超えている場合は少なく、 $\dot{V}O_2 \text{ max}$  自体が低く見積られている可能性が高いことが考えられる。体育科学センターによる回帰直線からの推定値では、10%を超えて大きく出た場合は122名 (誤差範囲10.0—56.2%)、10%を超えて小さく出た場合は34名 (10.8—25.7%) となり、許容範囲内の人数がいくらか増加する傾向が見られた。

推定値が著しく低く計算された group 3 の15例の内、10例は負荷が少し重過ぎ、心拍数は170拍/分以内にあるものの170拍/分に非常に近い値となっており定常状態を形成しているとは言いがたい例であった。また、他の3例は、体脂肪率30%以上、ローレル指数160以上の肥満者であった。

group 1 の4例及び group 3 の残りの1例は、運動部員であり、以下の様な事が考えられるが、結論は得られなかった。1)走能力の方がペダリング能力より優っており、ペダリングによる効率が悪い。2)心拍出量を決定する要素として心拍数の他、1回拍出量があり、一定の最大下運動に対応するのに1回拍出量をあまり増加させず、心拍数の増加により対応している。これは、トレーニングを行なった者程、一定負荷への心拍の応答が早くなるということも関係していると思われる。3)体型指数が大きく、除脂肪体重が多い場合、間接法の推定値が低く見積られる。4)精神的、心理

的要素による間接法測定時の心拍数の増加等である。Kearney<sup>15)</sup> や Katch<sup>14)</sup> らは、運動技能レベルが高くなると12分間走と $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の相関は減少すると報告しており、運動部員の場合、多少誤差が大きくなるのかも知れない。

一方、間接法による推定値が著しく大きくなった理由については、先ず、次の二つの場合が考えられる。1)12分間走に対して最大努力を払わなかったため、12分走からの推定値が低く見積られている場合、2)間接法の推定値が大きくなり過ぎている場合である。1)の場合に対しては、全員の確認を取るのは困難であり、また何名かは最大努力をしない者が含まれていると考えるのが妥当であろう。このことは group 3 による回帰直線の $\chi^2$ 切片が、他の回帰直線に比較して高くなっていることから考えられることである。

図5は心拍メモリーを装着して走った学生の中の2名の12分間走中の心拍数の変化を示したものである。学生K. S. (●) は、この時2,234 mを走っているが間接法での推定値は62.83ml/kg・min

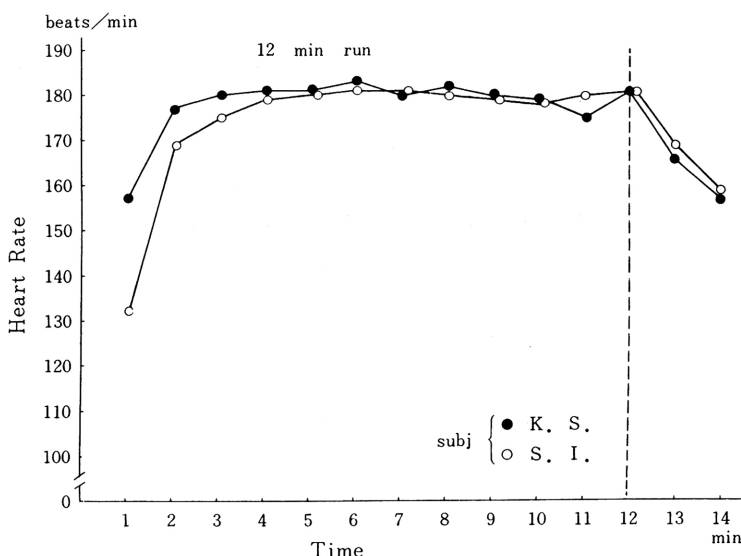


図5

となり、推定誤差は70.3%、全員の中で2番目に多い誤差が記録された。また、学生S.I. (○) は、2,325mを走っている。間接法での推定値は、61.61ml/kg・min、推定誤差は58.0%、全員の中で10番目に多い誤差であった。この2名に関して言えば、両者共に180拍/分前後で走り続けており、心拍数応答から考えれば最大努力をしていると考えて良いであろう。従って、他の原因により、間接法の推定値が大きくなり過ぎていると考えねばならないであろう。

推定誤差が大きくなる要因の一つに負荷の軽過ぎが挙げられる。最も著しい推定誤差を出した上位20例の中の8例は、定常状態の心拍数が、120拍/分から126拍/分までであった。上記の学生K.S. は負荷1.5kpで121拍/分、S.I. は同負荷で120拍/分で定常状態を形成している。Åstrandの判定表では、120拍/分台は心拍数が1拍変化する毎に推定値が変化するように作成されており、推定誤差が大きくなる可能性が高いと言える。まして、180拍/分前後で走り続けられる能力を持つ学生に対して120拍/分台の負荷は軽過ぎたと言えよう。

次に考えられるのが、ペダリングに対する習熟度が著しく高い場合であろう。高校時代1時間以上かけて自転車通学をしていた者は、推定誤差がかなり大きくなり、上位20例中に7例見られた。この中には、多少太りぎみの学生もおり、体重の影響を比較的受けないペダリングと、体重を支え



て走らなければならないランニングの影響が相乗効果として現れた例と言えよう。

3番目の要因として考えられるのは、一定負荷に対しての心拍数応答が著しく遅く、6分間の間に定常状態が形成されない場合である。この場合の特徴は、定常状態が形成されないにも拘らず心拍数は140~160拍/分程度の低いレベルにしか上昇しないことである。薬物を服用中か、軽い心電図異常が発現している可能性もあり、注意を必要とする場合であろう。

4番目の要因として、やせ過ぎが考えられる。間接法の測定時、比較的軽い負荷で心拍数が上昇し、生体に対する負荷はかなり大きいと思われても、体重当りの $\dot{V}O_2\max$ の値に換算すると高くなってしまいう傾向が認められた。

その他、一定の最大下運動に対応するのに1回拍出量を増大させて対応し、心拍数の対応は少なくして運動をするタイプの者もいるのではないかと考えられた。

### (3) 中高年者、半健康人における測定誤差

図2のgroup 2 (○)においては、直接法に比べ間接法の値が大きく出た例が9例、小さく出た例が18例であった。間接法の値が特に大きくなった例を見ると、まず、直接法の測定時に心拍数が最大値に達しておらず、 $\dot{V}O_2\max$ が測定できていないと思われる場合が考えられる。例えば、被検者Y. T. (37才)、最大心拍数174拍/分で終了、直接法27.40ml/kg・min、間接法39.00ml/kg・min、誤差42.3% (中高年者全員の中で2番目に多い誤差を記録)、被検者M. S. (48才)、最大心拍数171拍/分で終了、直接法20.50ml/kg・min、間接法26.50ml/kg・min、誤差29.3% (3番目に多い誤差) 等である。60才で194拍/分、56才で185拍/分という最大心拍数を記録している者もあり、前記2名の最大心拍数は、多少低いと言えるであろう。しかし、最大心拍数は個人差が大きく一概に論じることにはできない。

最も大きな測定誤差を記録した被検者F. N. (58才)は、最大心拍数171拍/分で終了、直接法25.10ml/kg・min、間接法35.80ml/kg・min、誤差42.6%と推定されたが、降圧剤を服用しているため、心拍の上昇が抑制され、間接法の推定値が増大したと考えられる例である。どの程度の心拍が抑制されたと考えるべきなのかは、今後の課題であろう。

一方、直接法に比べ間接法の値が小さく出た例は、学生の場合とは逆に人数的には多くなった。これは、やはり、12分間走とは違い個人の最大努力がある程度きちんとなされたためであろう。

18例中13例は、体脂肪率30%以上の肥満者であった。学生の例も合わせ、トレーニングを行っていない単純肥満は、間接法の値を小さくする要因の一つと考えてよいであろう。その他の例は、誤差の許容範囲内であると考えられた。

## ま と め

女子学生 (group 1 : 30名, group 3 : 276名), 及び, 中高年者 (group 2 : 27名) の3つの集団に対し, I. Åstrand の $\dot{V}O_2\max$  推定法 (間接法) を実施し, その値と $\dot{V}O_2\max$  (直接法) 及び12分間走値を比較し, その誤差範囲及び誤差の増大要因について検討を行なった。

12分間走値との比較については, $\dot{V}O_2\max$  (直接法) と12分間走との間に, $r = 0.814$  という高い相関関係が見られ (group 1 による), 12分間走からも $\dot{V}O_2\max$  を推定できると判断し, group 1 の値より算出した回帰直線 ( $y = 0.02302x - 14.52$ ) を用い, group 1 及び group 3 の12分間走値から $\dot{V}O_2\max$  を推定し, それぞれの間接法の値と比較を行なった。

直接法と間接法の間の誤差の平均値は, group 1 では10.7% (範囲0.3-48.0%), group 2 では13.5% (範囲1.6-42.6%), group 1 と group 2 を合わせると12.1%となった。

12分間走から推定した $\dot{V}O_2\max$  と間接法の間の誤差の平均値は, group 1 では7.9% (範囲0.2-34.3%) と最も小さくなったが, それを group 3 に適応すると最大で70.4%という誤差が推定され, 平均値も23.5%とかなり大きくなった。これらの結果から, 最低10%程度の誤差は許容範

困であると判断し、それ以上の誤差について増大要因を調べた。

まず、誤差が測定される原因として、直接法(12分間走を含む)の場合を検討した。中高年者(半健康人を含む)においては、直接法で $\dot{V}O_2 \max$ を測定した場合、最大値に達していないと思われる場合が認められた。また、12分間走からの推定値は、直接法のものより低く推定される傾向が認められ、更に、最大努力を払わない者も含まれると思われ、誤差を大きくした原因になったと考えられた。

一方、I. Åstrand の推定法(間接法)における誤差の増大要因としては、次の要素が考えられた。

1) 負荷が適切でない場合

重過ぎる場合は、定常状態が形成されず、値は低く推定され、軽過ぎる場合は、心拍数1拍の違いで推定値が変化し、値は高く推定される可能性が多くなると考えられる。

2) 習熟度に著しい違いがある場合

運動選手等で走能力がペダリング能力より優れている場合は低く、反対の場合は高く推定される。

3) 循環機能の応答による違い

最大下運動に対する心拍出量の適応を、心拍数によって対応した場合は低く、1回拍出量によって対応した場合は高く計算される可能性が考えられる。

4) 体型による違い(健康ではあるが、トレーニングはしていない場合に限ると思われる)

肥満者は低く、痩身者は高く推定されやすい傾向が見られたが、他の要素が優先される場合が多いと思われる。

5) その他

精神的、心理的に興奮している場合等は心拍数が上昇するため推定値は低く、薬物服用者、心電図異常者等は心拍数の上昇制限のため推定値は高く計算される場合が考えられる。

今回、I. Åstrand の推定法による $\dot{V}O_2 \max$ の測定値に関して検討を行なったが、誤差の範囲は、かなり大きいものとなった。検査方法自体の検討も含め、より正確性を増すための努力が、今後必要であろう。

#### 参 考 文 献

- 1) 浅見俊雄, "Aerobics" を日本人に適用する場合の2, 3の問題点について, 体育科学, 2: 101-108, 1974.
- 2) Åstrand, I., Aerobic Work Capacity in Men and Women with Special Reference to Age, Acta Physiol., Scand., 49 (Suppl. 169), 1960.
- 3) Åstrand, P-O., and I. Rhyning, A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work, J. Appl. Physiol. 7: 218-221, 1954.
- 4) Åstrand, P-O., and K. Rodahl, Textbook of work physiology, McGraw-Hill: New York, 1970.
- 5) Brozek, J., et al, Densitometric analysis of body composition review of some quantitative assumptions, Ann. N. Y. Acad. Sci, 110: 113-140, 1963.
- 6) Burris, B., Reliability and validity of the twelve minute run test for college women, Research paper presented at the 1970 AAHPER Convention, 1970.
- 7) Cooper, K. H., J. G. Purdy, S.R. White, M. L. Pollock, and A. C. Linnerud, Age-fitness adjusted maximal heart rates, In Medicine and Sports The role of exercise in internal medicine, Brunner, D. J. and Jokl E. eds, Basal, 1977, 78-88.
- 8) Davies, C. T. M., Limitations to the prediction of maximal oxygen intake from cardiac frequency measurement, J. Appl. Physiol. 24: 700-706, 1968.

- 9) Doolittle, T.L., and R. Bigbee, The twelve-minute run-walk : A test of cardiorespiratory fitness of adolescent boys, *Res. Quart.*, 39 : 491—495, 1968.
- 10) 平川和文, 植野早苗, 家治川豊, 女子学生に関する12分間走テストの低位者と高位者の体組成・有酸素および無酸素的能力の検討, *体育学研究*, 29(3) : 237—244, 1984.
- 11) 石井喜八, 最大酸素摂取量の間接測定, 身体運動の生理学 (猪飼道夫編), 370—386, 杏林書院, 東京, 1973.
- 12) 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授業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.
- 13) 神山雄一郎, 山西哲郎, 桜井隆志, 齊藤三郎, 女子大生における十二分走テストと最大酸素摂取量について, *日本体育学会群馬支部・体育学研究*, 6 : 11—18, 1983.
- 14) Katch, F. I., W.D. McArdle, R. Czula, and G. Pechar, Maximal oxygen intake, endurance running performance, and body composition of college women, *Res. Quart.*, 44 : 301—312, 1973.
- 15) Kearney, J. T., W. C. Byrnes, Relationship between running performance and predicted maximum oxygen uptake among divergent ability groups, *Res. Quart.*, 45 : 9—15, 1974.
- 16) 今野道勝, 若菜智香子, 安永誠, 大坂哲郎, 緒方道彦, 福岡市近郊の成人男女の栄養, 運動, 身体組成について, *健康科学*, 3 : 97—104, 1981.
- 17) 熊谷秋三, 西住昌裕, 近藤芳昭, 大橋優子, 生田純男, 矢崎俊樹, 地域における肥満者教室への監視型トレーニングの導入とその効果, 厚生 の 指標, 32(3), 27—33, 1985.
- 18) Margaria, R., P. Aghemo, and E. Rovelli, Indirect determination of O<sub>2</sub> consumption in man, *J, Appl. Physiol.*, 20, 1070—1073, 1965.
- 19) Nagamine, S., and S. Suzuki, Anthropometry and body composition of Japanese young men and women, *Human Biol.*, 36 : 8, 1964.
- 20) 大柿哲郎, 小室史恵, 宅島章, 藤野武彦, 金谷庄蔵, 満園良一, 吉水浩, 主婦を対象とした健康づくり教室の形態, 体力および血清脂質に及ぼす影響, *健康科学*, 7 : 101—109, 1985.
- 21) 大坂哲郎, 今野道勝, 和田紀子, 安永誠, 吉水浩, 増田卓二, 都市近郊に居住する日本人とネパール人の Maximal Aerobic Power, *体力科学*, 31 : 172—177, 1982.
- 22) Sparling, P.B. and K. J. Cureton, Biological determinants of the sex difference in 12-min run performance, *Med. Sci, Sports Exerc.*, 15 : 218—223, 1983.
- 23) Stewart, K. J., C. M. Williams, and B. Gutin, Determinants of Cardiorespiratory Endurance in College Women, *Res. Quart.*, 48(2) : 413—419, 1977.
- 24) 体育科学センター編, 健康づくり運動カルテ, 講談社, 1980.
- 25) 山西哲郎, 桜井隆志, 神山雄一郎, 征矢英昭, 山口明彦, 笠原壮一, 柳田昌彦, 健康・体力づくりコース報告書, ぐんま社会保険センター, 1985.
- 26) 山下亀次郎, 藤田敏郎, 久貝信夫, 小出義信, 板倉光夫, 川井紘一, 糖尿病患者のための運動処方, 運動処方研究, 筑波大学 : 229—238, 1982.