

最大下運動時の心拍数と 十二分走値との関係について

神 山 雄 一 郎

The Relation between HR of Submaximal Exercise
and a distance run for 12 minutes
Yuichiro KAMIYAMA

【はじめに】

呼吸循環機能の測定として Cooper⁶⁾ が十二分走を提唱して以来十二分走は徐々に定着してきており、群馬県立女子大学では学期初めに体力測定を実施し、その中で十二分走を行なっている。そしてその結果にともない、更に自転車エルゴメーターを用いて固定負荷法で最大酸素摂取量の推定を行ない、それを基に学生に運動処方を与えている。しかし、学生にとっては最大酸素摂取量の値で示すより、それを更に十二分走の距離に換算して示したほうが分かり易いようである。そこで今回は、固定負荷法によって得られた最大下運動時の心拍数から直接十二分走値が推定できないかと考えその方法について検討を行なった。

現在行なっている方法は、Åstrand の nomogram³⁾ を用いて最大酸素摂取量を推定し¹⁾、その後 Cooper⁷⁾ による十二分走と最大酸素摂取量の関係から十二分走値を推定するという方法である。この方法の問題点としては十二分走値を推定するまでに 2 回の推定が行なわれること、日本人のものではないこと、年齢における最高心拍数を一定としていること、呼吸循環機能に対するトレーニングによる心拍数の変動が考慮されていないこと等を指摘することができる。

本学では 9 年間にわたりこの方法によって推定を実施し、データの集積に努めてきた。そして Åstrand の推定法における誤差の増大要因についての検討¹¹⁾ や、推定値を徐々に日本人に適應するよう改良を行ってきている。なかでも最高心拍数を一定とすることへの疑問が生じ、ある一定時間の最大運動時に変化する心拍数の割合が呼吸循環機能応答の一つの基準に成りえるのではないかと考えた。つまり心拍出量の大きさは、トレーニングがなされていない者にとっては 1 回拍出量が小さいため、心拍数の応答によって調節される割合が大きいのではないかと考えたからである。

更に最大下運動時の心拍数から直接十二分走値の推定が可能となれば、最大酸素摂取量にこだわることなく、その他の呼吸循環機能の最大値の測定に対しても最大下の心拍数からの推定に道を開くものであると考えられる。

今回の研究対象となった学生は、女性であり、18才から20才と年齢幅が小さく、運動をほとんど行っていない者が約半数、残りの者も 2, 3 日軽い運動を行なっているという者がほとんどである。従って今回のデータが日本人全体を表わすとは言い難いが、基礎的なデータとしては貴重なものとなるはずである。これに類する研究はまだほとんど行なわれておらず、あらゆる年齢層のデータの集積が今後期待される場所である。

【方法】

1. 測定方法

(十二分走値) 十二分走は12分間の走行距離を測定するものであり、意欲と自己努力が成績に大きく影響する。従って有酸素的能力の最大限の努力がなされているデータを採用する必要がある。そこで心拍メモリーを胸部に装着し十二分走を行なわせ10秒毎の心拍数を記録した。その記録を1分単位に集計し、走行中の心拍数が190拍を超えていること、4分以後の心拍数が終了時まで定常状態になっていることの2点から最大限の努力の適否を判定した。その結果125名の中から30名を選出することができた。その30名の走行距離は1520mから2598mの範囲であった。走行中の詳細な心拍数は最後に付表として示した。

(最大下運動時の心拍数の測定) 自転車エルゴメーターを用いて1.5kpの固定負荷で1分間に50回転のリズムで6分間の運動を行なわせた。その後10秒間の休息の後、負荷を2～2.5kpにあげ30秒間の最大努力運動を行なわせた。心拍数の測定は安静時、スタート直後、1分から6分までの1分毎の前後各15秒間、最大努力運動時、及び回復期も1分毎に3分間行なった。

(その他の測定) 最大下運動時の心拍数の測定と同時に身長、体重、体脂肪率、安静時血圧の測定も実施した。体脂肪率は上腕部と肩甲下部をキャリパーで皮下脂肪厚を測定し、長嶺ら¹³⁾の式を用いて身体密度を算出した後、Brožekら⁵⁾の式から算出した。

また、運動部活動、通学方法や時間、現在の薬の服用の有無、睡眠時間等に関する簡単なアンケートを実施し、生活と体調に関する把握を行なった。

2. 検討方法

(第1段階) ÅstrandとCooperの式を用いて十二分走値を推定した場合と実際の十二分走値の値の差を明らかにしておく。全体として今回の推定値の方が誤差が小さくなることが前提である。

(第2段階) 最大下運動時の心拍数の定常状態の確認と非定常状態と考えられる場合の扱いについて検討を行なう。明らかに定常状態を形成している者、定常状態かどうか疑わしい者、定常状態とは言えない者の3グループに分類する。

(第3段階) 定常状態を形成した心拍数と十二分走値の関係を検討する。①心拍数と最も相関が高いのは単位体重当たりの最大酸素摂取量であり、その関係は一次関数と考えられる¹⁴⁾。②Åstrandのnomogramからの推定の場合には最大心拍数あるいは年齢によって定められた係数を乗じて補正を行なう¹⁾。③単位体重当たりの最大酸素摂取量と十二分走値との関係も一次関数と考えられる⁷⁾。以上3点の示唆を考慮し、最大下運動時の心拍数から十二分走値の推定を一次関数で行なう。より相関を高めるための係数を検討する。その係数の検討には30秒間の最高努力運動の際のピーク心拍数を利用する。

運動部活動や生活レベルを考慮し、トレーニング効果をどのように判定するか検討する。この場合トレーニング効果は各個人で違いがあると考えられ、ほとんど運動を行っていない者のグループが先ず基本になると考えられる。

(第4段階) 定常状態かどうか疑わしい者、定常状態とは言えない者のグループに対する推定およびその誤差について検討を行なう。

以上の手順にしたがって検討を行なうこととした。

【結果及び考察】

1. 十二分走値について

被験者の身体的特性及び十二分走値, Åstrand と Cooper の式を用いた十二分走推定値, 及びその差を表わしたのが表1である。ローレル指数で160を超えた者が3名, その内, 体脂肪率で30%を超

表1 被験者の身体的特性と十二分走値

	Name	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Rhorer's Index	% Fat (%)	SBP (mmHg)	DBP (mmHg)	12min run (m)	Estimated 12min run (m)	Dif. (m)			
定常状態形成	活動グループ	M. I.	19	158.0	68.2	172.9	35.9	102	60	2,103	2,695	592		
		K. H.	19	170.3	56.0	113.4	19.7	114	60	2,460	3,180	720		
		T. N.	19	162.5	50.6	117.9	12.7	92	68	2,158	2,740	582		
		F. T.	20	164.7	56.5	126.5	21.2	110	78	2,160	2,355	195		
		A. Y.	20	156.0	49.2	129.6	19.8	104	50	2,375	2,590	215		
		A. O.	20	150.5	63.0	184.8	23.9	118	72	1,916	1,945	29		
		S. O.	20	157.4	46.4	119.0	18.0	90	68	2,201	2,250	49		
		M. N.	20	158.8	52.0	129.9	21.7	110	74	2,085	1,970	115		
	非活動グループ	Y. S.	19	167.0	54.5	117.0	25.0	96	62	1,756	2,790	1,034		
		S. F.	20	161.5	53.5	127.0	19.2	110	72	2,098	2,795	697		
		S. K.	19	147.6	51.2	159.2	27.2	106	68	1,870	2,915	1,045		
		E. Si.	20	156.2	54.8	143.8	27.3	114	64	1,910	2,540	630		
		N. Y.	20	157.0	42.8	110.6	17.0	100	68	1,847	2,100	253		
		M. A.	18	155.4	46.1	122.8	19.2	98	68	1,850	1,955	105		
M. F.	19	156.6	54.3	141.4	26.1	126	76	1,520	1,650	130				
定常状態疑形成	活動グループ	M. S.	19	162.5	55.4	129.1	22.1	94	64	2,542	3,145	603		
		S. I.	19	155.1	56.7	152.0	20.8	108	80	2,598	2,520	78		
		K. S.	18	167.6	52.9	112.4	18.5	102	64	2,130	2,265	135		
		Y. I.	20	162.0	52.2	122.8	22.5	104	60	2,162	2,160	2		
		E. Su.	18	159.0	51.8	128.9	19.5	110	70	2,133	2,205	72		
		Y. A.	19	164.0	48.2	109.3	18.6	102	58	1,859	1,895	36		
		F. I.	19	159.0	52.5	130.6	28.4	138	70	1,690	1,665	25		
	非活動グループ	K. K.	19	155.5	51.7	137.5	25.6	108	64	2,136	2,460	324		
		J. O.	19	154.0	46.5	127.3	16.9	122	78	1,906	2,505	599		
		H. S.	20	150.0	47.9	141.9	21.9	96	50	1,840	2,240	400		
		Y. K.	18	158.0	44.6	113.1	18.7	108	56	1,916	2,080	164		
		M. T.	19	156.4	45.6	119.2	18.4	100	72	1,775	1,870	95		
		非定常	活動	M. K.	20	157.2	63.5	163.5	33.6	120	62	1,750	1,630	120
			非活動	M. Tu.	19	155.0	52.6	141.3	21.7	138	60	2,140	2,240	100
	T. T.	18	154.0	46.2	126.5	16.5	104	62	2,006	2,175	169			
mean		19.2	158.3	52.2	132.4	21.9	108	66	2,030	2,318	310			
S.D.		0.70	5.1	5.7	18.4	4.9	11.6	7.5	247.2	411.3	297.8			

えた者は2名であるが、十二分走の記録は肥満者が低いという結果にはなっていない。また血圧も十二分走の値には影響を与えていない。Åstrand と Cooper の式を用いた推定値と実際の十二分走値との間の相関は $r=0.629$ ($p \leq 0.001$) である。また、その差は最少 2 m から最大 1045 m までとなり、平均で 310 m であった。誤差が 1000 m を超えた被験者 S.K. と Y.S. は自転車エルゴメーターでの 1.5kp 負荷時の定常状態の心拍数がかかなり低かったため推定値が大きくなったにもかかわらず、十二分走の記録が少なかった場合であった。また逆に十二分走値が小さく推定された場合は 30 名中 5 名であり、その最大誤差は被験者 M.K. の 120 m であり、比較的誤差は小さくなっている。

2. 固定負荷時の心拍数について

表 2 は自転車エルゴメーターで 1.5kp の固定負荷で 6 分間の運動を行なった時の心拍数の変動を

表 2 1.5kp の固定負荷運動時の HR 変化

(単位 拍/分)

		Name	rest	start	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	steady	peak HR		
定常状態形成	活動グループ	M. I.	84	88	115	112	119	121	122	120	121	170		
		K. H.	68	111	115	112	117	120	120	122	122	175		
		T. N.	73	78	110	128	130	132	134	137	137	168		
		F. T.	80	114	123	130	132	136	140	142	142	181		
		A. Y.	93	107	123	135	142	144	144	144	144	180		
		A. O.	94	120	135	135	140	150	150	147	150	185		
		S. O.	90	121	137	145	152	155	158	160	160	182		
		M. N.	98	101	140	150	150	158	162	162	162	191		
	非活動グループ	Y. S.	68	89	115	130	130	128	129	132	132	165		
		S. F.	85	92	112	130	130	132	133	132	132	182		
		S. K.	86	106	130	130	130	126	129	133	133	170		
		E. Si.	75	111	122	128	130	138	138	138	138	180		
		N. Y.	102	128	151	160	168	168	172	173	173	190		
		M. A.	99	101	160	170	169	175	175	175	175	205		
M. F.	107	137	155	156	165	173	175	178	178	202				
定常状態疑形成	活動グループ	M. S.	83	105	120	125	112	115	115	123		165		
		S. I.	73	112	123	130	137	133	137	145		191		
		K. S.	80	120	130	139	140	148	151	160		185		
		Y. I.	67	85	127	132	131	140	152	155		190		
		E. Su.	86	123	132	139	141	141	152	155		175		
		Y. A.	76	125	137	140	155	170	175	174		186		
		F. I.	75	120	155	170	170	170	180	180		195		
	非活動グループ	K. K.	68	94	113	134	130	133	143	145		189		
		J. O.	83	104	130	135	130	142	145	151		181		
		H. S.	56	80	120	138	150	150	153	158		170		
		Y. K.	92	120	138	155	158	163	170	172		194		
		M. T.	61	79	140	150	162	172	175	180		195		
		非定常	活動	M. K.	88	122	135	145	140	150	161	166		190
			非活動	M. Tu.	70	94	115	140	130	130	143	152		183
T. T.	81			122	135	135	140	150	160	165		190		

表わしたものである。上位15名ははっきりと定常状態を形成した者、中位12名は定常状態を形成していると考えられるがいくらか疑わしい者、下位3名は定常状態とは言い難い者と3グループに分類した。定常状態を形成したかどうかの判断は4分以後の心拍数の変動が10拍以内であること、全体を通して極端な心拍数の変動が認められないことの2点から行なった。疑わしい者としたのは、4分から5分にかけて、あるいは5分から6分にかけて5拍以上心拍数が上昇しており、定常状態を形成した心拍数値の特定に誤差を生じる可能性のあったものがほとんどである。

一方、表3はアンケートから運動部活動や生活において活動的であると思われる者をまとめたものである。この中には定常状態と考えられた15名中8名が含まれている。表3以外の14名は自宅から自家用車で通学、あるいは大学近くに下宿し通学は自転車か徒歩で5分以内という者であった。活動も週1回行なわれる体育実技が最も激しい運動であると回答しており、ほとんど運動は行っていないと考えられる。

表3 体育（授業）以外の身体活動

	Name	Exercise
定常状態形成	M. I.	自転車通学 (15分)
	K. H.	演劇活動
	T. N.	テニス部
	F. T.	ネットボール部
	A. Y.	卓球部
	A. O.	ボランティア活動
	S. O.	自転車通学 (25分)
	M. N.	サッカー部、バス通学
定常状態疑形成	M. S.	バスケットボール部
	S. I.	サッカー部
	K. S.	卓球部
	I. Y.	自転車及びバス通学 (2時間半)
	E. Su.	自転車通学 (20分)
	Y. A.	自転車通学 (25分)
	F. I.	ダンス部
非定常	M. K.	テニス部

3. 最大下運動時の心拍数からの十二分走値の推定

被験者30名中、十二分走値、固定負荷運動時の定常状態の心拍数の確定共に信頼のおけるデータとして考えられるのは15名であった。まずこの15名によって1つの基準を作り、次に残りの者にその基準を当てはめ相関を調べるという手順で行なった。

先ず前提として考えられるのは、①最大下の一定負荷運動時の心拍数が低い者は最大酸素摂取量が大きい^{4,16)}。②最大酸素摂取量が大きい者は十二分走値も大きい^{7,16)}という点である。したがって最大下運動時に心拍数が低い者は十二分走値が大きいということになる。しかし今回の15名について定常状態の心拍数値と実際の十二分走値の相関を単純に調べたところ、 $r = -0.499$ と非常に小さい値となった。これは先ず第1に「酸素摂取量と心拍数との関係において最も相関が高いのは単位体重当たりの酸素摂取量である¹⁶⁾」ことを考慮していないためであると考え、十二分走値に体重を乗じ外的仕事量とし、その値と定常状態の心拍数値との相関を調べた。その結果 $r = -0.738$ ($p \leq$

0.001) とかなり上昇した。

次に生活習慣の違いによる呼吸循環機能の応答について検討を行なった。最大酸素摂取量は心拍出量と動脈酸素較差の積で表わされ、心拍出量は1回拍出量と心拍数の積で表わされる。このうち動脈酸素較差は組織内の酸素需要組織の改善により、また1回拍出量は心筋の肥厚により量的増大をきたす。これらは持久的トレーニングによってなされる。つまり最大酸素摂取量の増加は動脈酸素較差や1回拍出量の増加によるものであり最高心拍数が増加するものではない。むしろ1回拍出量が増加することにより最高心拍数は減少することが多い。したがって最大酸素摂取量と心拍数との関係は最大酸素摂取量が増大すると最大下負荷に対する心拍数は減少することになる。以上のことを考慮すると、個人内においてトレーニング期間をおかず、ある最大下の運動を行なった場合の心拍数の応答は、その時点の最大酸素摂取量と相関が高くなる可能性は高いが、トレーニング期間を設けてしまった場合や、普段の生活やトレーニング量により動脈酸素較差や1回拍出量が異なる集団間では両者の応答の違いが認められるはずである。そこで定常状態を形成した15名を運動部活動や生活が活動的である者8名とほとんどトレーニングを行っていない者7名に分け、外的仕事量と最大下運動時の定常状態の心拍数との相関を調べた。その結果、活動的な者のグループ(以下、活動グループ)は $r = -0.869$ ($p \leq 0.01$)、活動的でない者(以下、非活動グループ)は $r = -0.857$ ($p \leq 0.01$) となり、相関係数としては上昇したが有意水準としては低下した。

1.5kpの負荷で6分間の最大下運動を実施した後、10秒間の休息をはさみ、負荷を上げ30秒間の最大努力運動を実施した。その結果は表2にピーク心拍数として示してある。これは個人の最高心拍数を測定する試みとして実施したが、結果は30名中190拍/分を超えた者は11名のみであり、十二分走を190拍/分以上で走り続けられる者がこの値では最高心拍数を表わしているとは言えない。しかし測定を実施しているうちピーク心拍数が低い者、特に180拍/分前後を境にしてそれより低い者の十二分走推定値の誤差が大きくなることに気が付いた。今回の測定値でも最大誤差を出した被験者S.K., Y.S.はピーク心拍数がそれぞれ170, 165拍/分でかなり低い値であり、もう一人の最低値(165拍/分)の被験者M.S.も誤差が603mとかなり大きくなっている。

Åstrandの推定法において最大酸素摂取量を推定する場合、先ずnomogramによって推定した後、係数を乗じて補正を行なう。この係数は最高心拍数では200拍/分、年齢では25才が基準になっており、最高心拍数が低下するあるいは年齢が増加した場合には係数が小さくなる。今回の被験者の場合は年齢が18才から20才までであり、1.07から1.05の係数を乗じて計算することになる。これは最高心拍数を207から206拍/分と定めたことに等しい。つまり、ここでの問題点は年齢が同一の場合には最高心拍数も同一であると決めている点である。先にも述べた通り、1回拍出量が多い者は最高心拍数が少ない可能性や、器質的な理由により、最高心拍数も個人によりかなり違いがあるはずである。確かに年齢が増加することによって平均的には最高心拍数は減少する傾向を示す²⁾が、最大酸素摂取量を実測した際に認められる最高心拍数にもかなり大きなばらつきが認められることも確かである¹⁰⁾。Åstrandの推定法に限らず最大下の値から他の最高値を推定しようとする場合、ある最高値を基準にすることはよく用いられる手法である^{8,9,10,12)}。Åstrandの推定法の場合それを年齢における最高心拍数としたわけであり、心拍数も酸素摂取量も最高値を測定しないで推定を行なうわけであるからある意味で平均値を充当させることは仕方のないこととも言えるが、逆に考えれば最も誤差の可能性が高くなる点であるとも言える。

今回先ず、30秒間の最大努力運動によるピーク心拍数が180拍/分を超えない場合、誤差が大きくなるのは係数が大き過ぎるためであると考え基準を180拍/分とし、それを超える場合はこれまでの係数を、超えない場合にはピーク心拍数を180で割った値を係数として利用してみた。つまり、定常状態の心拍数をその係数で除し、外的仕事量と比較した。その結果、 $r = -0.821$ ($n = 15$) となり更

に相関が高くなった。そこで15名全員180拍/分を基準として係数を算出し、同様に比較したところ相関係数は-0.790となりいくぶん低下してしまった。しかし、活動グループと非活動グループとに分けて相関を調べると、活動グループ(8名) $r = -0.966$ ($p \leq 0.001$)、非活動グループ(7名) $r = -0.983$ ($p \leq 0.001$) と非常に高い相関が得られた。この180拍/分を基準にするという考えは偶然に経験的に考え出されたものであるが、実はピーク心拍数のある定数で除して算出した係数で定常状態の心拍数を更に除するということは、結果的には定常状態の心拍数をピーク心拍数で除し、ある定数をかけることに他ならない。したがってこの相関はピーク心拍数に対する定常状態の心拍数の割合、つまり上昇率の逆数ということである。つまり、この上昇率の大きいものが外的仕事量も大きくなるということになり、逆相関と考えられていたものを順相関として考えてよいことになる。この結果を図示したのが図1である。15名全体では $r = 0.793$ ($p \leq 0.001$)、活動グループ(8名)で

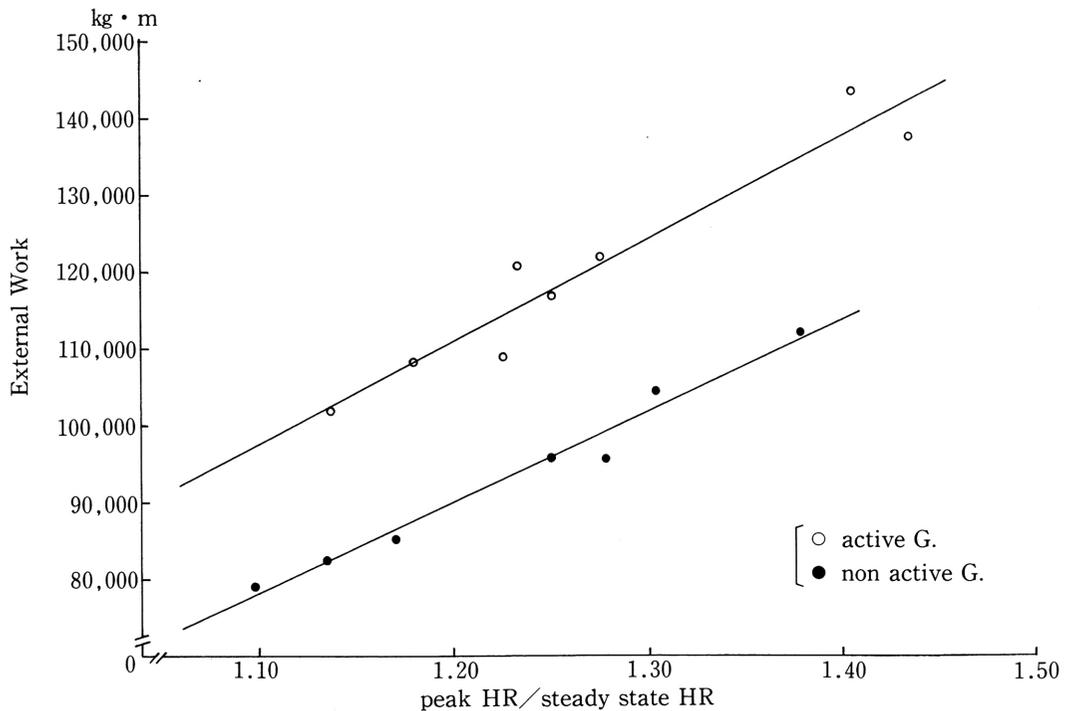


図1 外的仕事量と定常状態の心拍数に対するピーク心拍数の割合との関係
 ———— 確実に定常状態を形成した者 ————

は $r = 0.964$ ($p \leq 0.001$)、非活動グループでは $r = 0.988$ ($p \leq 0.001$) と最も高い相関を示し、回帰直線は次の式で表わされた。

活動グループ $y = 134376x - 50255.8$

非活動グループ $y = 119452x - 53406.7$

y : 外的仕事量 (12分走の距離(m) × 体重(kg))

x : 定常状態の心拍数に対するピーク心拍数の割合

4. 定常状態の形成がいくらか疑わしい者に対する推定

6分間の最大下運動における心拍数の変化も一律ではなく、形通りの定常変化をするとは限らな

い。今回定常が疑わしい者として分類した12名を更に細かく点検すると、3分から4分にかけて15拍上昇した者1名、4分から5分にかけて7拍以上上昇した者5名、5分から6分にかけて5拍以上上昇した者6名である。心拍数が急激に変化する原因として、①負荷の大きさが変わる、②1回拍出量との関係が変化する、③精神的緊張が高まる等の理由が考えられる。今回の場合、この中で与えられている負荷の大きさは一定であるが、1分間に50回転というリズムが遅い場合にはリズムを保つように指示が出され多少変わる可能性がある。また6分間という時間制限が与えられており、終了近くなると精神的緊張が高まる場合があるという2つの可能性が高いのではないかと考えられる。また4分から6分までの値の変化が10拍以内の者が6名いる。その他の者もその1点を除けばかなり変化の割合は少なく、負荷が大き過ぎて定常状態を形成していない場合とは考えにくく、基本的には定常状態を形成していると考えの方が妥当であろう。ただし、定常状態を形成したとして捉えられる心拍数値を安易に6分時の値で対応させることには問題がある。そこで4分時、5分時、6分時のそれぞれの心拍数に対するピーク心拍数の上昇率を求め、外的仕事量との関係がどのように変化するかを調べた。それを図示したのが図2である。図中に描かれている回帰直線は、図1で求められたものである。12名全員のピーク心拍数の上昇率と外的仕事量との相関は4分値 $r=0.852$ 、5分値 $r=0.868$ 、6分値 $r=0.839$ であり5分値が最も高くなった。また、運動部などで活動している者は活動グループの回帰直線から、活動していないものは非活動グループの回帰直線から外的仕事量を算出し、4分時、5分時、6分時それぞれの心拍数に対するピーク心拍数の上昇率を

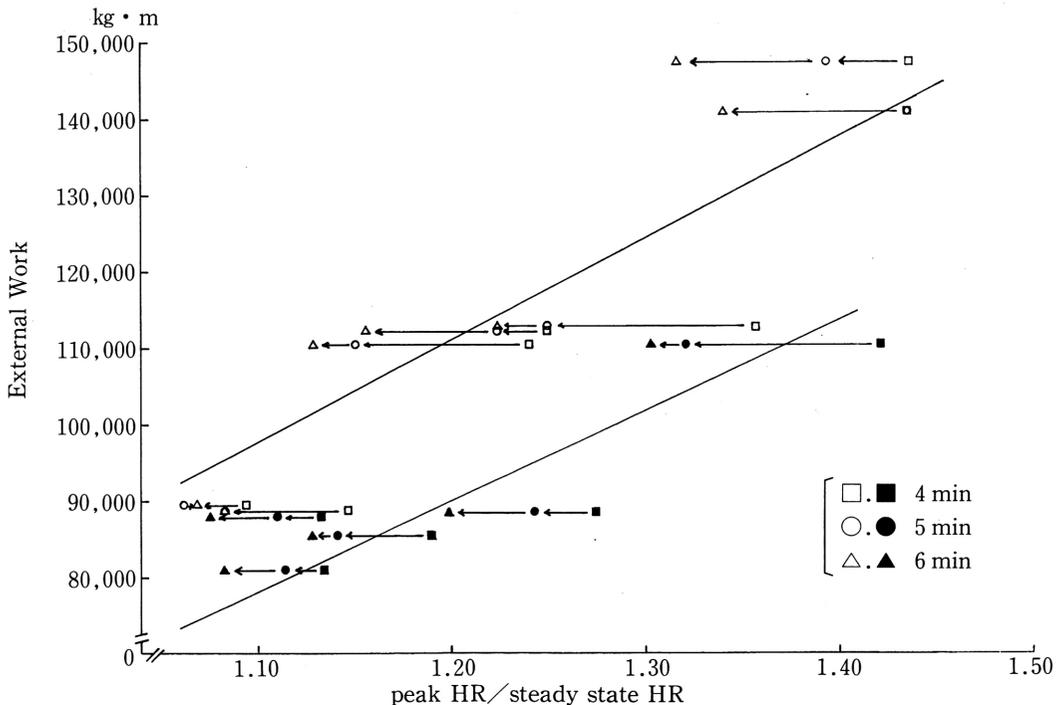


図2 外的仕事量と4分時、5分時、6分時のそれぞれの心拍数に対するピーク心拍数の割合との関係——定常状態が疑わしい者——
 白抜き(□○△)は活動的なグループとして分類された者、
 黒色(■●▲)は非活動的なグループとして分類された者を表わし、矢印で個人の変化を示している

比較してみた。その結果は4分値 $r=0.944$ 、5分値 $r=0.963$ 、6分値 $r=0.942$ となり、ここでも5分時が最高値を示した。このことは定常状態を形成しているかどうか疑わしい場合、特に、4分から5分にかけて、あるいは5分から6分にかけて心拍数が5拍以上上昇した場合は5分時の値で推定すると比較的誤差が少なくなることを示していると言える。

5. 定常状態を形成していないと思われる場合の推定

今回、定常状態とはなっていないと思われる場合は3例である。4分から5分、5分から6分にかけて被験者 M.Tu.は13拍、9拍、T.T.は10拍、5拍、M.K.は11拍、5拍と上昇を続けている。本来、定常状態を形成していない場合には推定をすることはできない。定常状態を形成しないということは負荷が大き過ぎる場合か時間が短すぎる場合であり、負荷が大き過ぎる場合とは無酸素性作業閾値(AT)を超えて作業がなされた場合である。しかし、今回の被験者は有酸素作業の代表的な十二分走において190拍/分を超えて作業し、しかも3名とも十二分走では2分で既に180拍を超えている。今回の6分の自転車での作業では最も高い心拍数を示したのが被験者 M.K.の166拍/分であり、まだかなり余裕のある値であると言える。実際にグラフを作って調べてみると中盤で3名とも一度定常状態に近い形を作り後半になって再び上昇するという形を作っている。従って本来なら定常状態を形成してもおかしくない値であると言える。しかし、このような形をとった場合、1分違おうと推定値がかなり変化し、誤差を増大する要因となることから、たとえ定常状態であると仮定しても推定をすることが非常に難しいことは確かである。前回と同様な方法で無理やり4分値から6分値にかけて推定を試みたが、M.Tu.は4分値、T.T.とM.K.は5分値で誤差が最も少ない値となった。このことから推定をせざるを得ない場合には定常状態が疑わしい場合と同様に5分値を採用することになりそうであるが、測定方法も含め、もう少し例数を増やして検討することが必要であろう。

6. 推定誤差の検定

表4は今回求められた定常状態の心拍数に対するピーク心拍数の上昇率、2本の回帰直線を利用して推定した十二分走値、その値と実際の十二分走値との差を示したものである。100m以上の差を示したのは8名であり、最大誤差は定常状態を形成しなかった者として分類された被験者 M.Tu.の249mであった。ÅstrandとCooperの式を使って求めた場合と誤差を比較すると全体的には今回の方がかなり小さくなっているが、7名はÅstrandとCooperの式を使って求めた場合の方が小さな誤差であった。この7名の推定誤差は2~78m(平均41.6m)とかなり小さく、しかもピーク心拍数は1名を除き185拍以上であった。全体でもÅstrandとCooperの式を使って求めた場合にはピーク心拍数が185拍以上になった者の推定誤差は最高で被験者 K.K.の324mと比較的小さく、この程度まで心拍数をあげるような負荷にすることが推定の精度を上げる1つの条件となっているように思われる。

また、今回の推定十二分走値と実際の十二分走値との相関係数は、活動グループ(16名)で $r=0.946$ 、非活動グループ(14名)で $r=0.806$ 、全体(30名)で $r=0.933$ となり、全て0.1%水準で有意となった。回帰直線を求めた際には非活動グループの相関が最も高かったが、実際に利用してみると比較的低くなった。これは定常状態がはっきりしない者達を無理やり推定したためであり、推定の難しさがあらためて浮き彫りになったと言える。しかも新たに加わった7名中6名は実際の十二分走値より低く推定された。これは最大下運動時の6分値ではなく、5分値を利用してさえも低

表4 今回の回帰直線から推定した十二分走値と実際の十二分走値との差

Name	peak HR/ steady HR	Estimated 12min run (m)	dif. (m)				
M. I.	1.4050	2,031	72	M. S.	1.4348	2,573	31
K. H.	1.4344	2,545	85	S. I.	1.3942	2,418	180
T. N.	1.2263	2,263	105	K. S.	1.2252	2,162	32
F. T.	1.2746	2,142	18	Y. I.	1.2500	2,255	93
A. Y.	1.2500	2,393	18	E. Su.	1.1513	2,016	117
A. O.	1.2333	1,833	83	Y. A.	1.0629	1,921	62
S. O.	1.1375	2,211	10	F. I.	1.0833	1,815	125
M. N.	1.1790	2,080	5	K. K.	1.3217	2,021	115
Y. S.	1.2500	1,763	7	J. O.	1.2483	2,058	152
S. F.	1.3788	2,080	18	H. S.	1.1111	1,656	184
S. K.	1.2782	1,939	69	Y. K.	1.1412	1,859	57
E. Si.	1.3043	1,869	41	M. T.	1.1143	1,748	27
N. Y.	1.0983	1,817	30	M. K.	1.1801	1,706	44
M. A.	1.1714	1,877	27	M. Tu.	1.2797	1,891	249
M. F.	1.1348	1,513	7	T. T.	1.1875	1,914	92
				mean	1.2314	2,012	72
				S.D.	0.10361	253.7	59.9

かったということである。つまり、この回帰直線からの推定値はかなり活動レベルの低い者、換言すれば、運動不足状態の者の推定値として捉えることができよう。一方、活動グループの相関は8名増えたにもかかわらずあまり低下しなかった。週に2、3日運動部活動をする、あるいは20分程度の自転車通学をする者の標準的な値を示していると言えそうである。このことは週5日以上運動部活動を行なっている者、つまり1回拍出量や動静脈酸素較差が更に大きい者に対して推定をした場合には低く推定される可能性が高くなるということでもある。しかし、この活動グループとして求めた値くらいには非活動グループの者もあり無理なく到達可能と考えられ、非活動グループの者にとっては1つの目標値ともなるであろう。女子大生の生活は専業主婦と身体活動量はほぼ同じであるという報告¹⁵⁾もあり、女子大生にとっての適度な運動量については今後も検討して行かなければならない課題である。

【まとめ】

9年間にわたりÅstrandの推定法で最大酸素摂取量を、更にその値をCooperによる方法で十二分走値に推定を行なってきた。今回は、最大下運動負荷による心拍数の値から直接十二分走値を推定することを試みた。

被験者として十二分走において最大努力がなされたと思われる30名を選出し、自転車エルゴメーターによる6分間の最大下運動時に定常状態を形成した者15名、定常状態が疑わしい者12名、定常状態を形成していないと思われる者3名に分類した。また別に運動部活動や生活習慣から活動的なグループ(16名)と非活動的なグループ(14名)にも分類して検討を行なった。

定常状態を形成した者15名について検討を加えた結果、活動的なグループと非活動的なグループとの間に呼吸循環機能の応答に違いが認められた。そして各グループにおいて外的仕事量と定常状

態の心拍数に対するピーク心拍数の上昇率との間にかなり高い相関が認められた。その回帰直線と相関係数は、

定常状態を形成した活動的なグループ（8名）： $y=134376x-50255.8$ ($r=0.964$)

定常状態を形成した非活動的なグループ（7名）： $y=119452x-53406.7$ ($r=0.988$)

(y ：外的仕事量, x ：定常状態の心拍数に対するピーク心拍数の割合)

であり0.1%水準で有意となった。

定常状態を形成していると考えられるが4分から6分にかけて数値が安定せず、定常状態としての値を確定しにくい場合には5分値を利用することが推定誤差を小さくすると判断された。

残りの15名に対して5分値を利用し上記で得られた回帰直線で十二分走値を推定したところ、全体(30名)で $r=0.933$ ($p \leq 0.001$)の相関が得られた。これはÅstrandとCooperの式を用いて得られた相関、 $r=0.629$ よりかなり高い値である。

非活動的なグループから得られた回帰直線による推定値は十二分走値の最低基準を示すものとして、また、活動的なグループから得られた回帰直線による推定値は、運動部に所属していない学生にとっても生活を少し活動的に行なえば到達可能な値を示すと考えられ、あまり活動的でない、いわゆる一般女子学生の1つの目標として利用できそうである。

2つの異なる運動負荷に対する心拍数の上昇率が有酸素能力の最大値と相関が高いということが確実になれば、今後の最大値の推定に一石を投じることになるはずである。今回は固定負荷における有酸素能力と、30秒間の最大努力運動という無酸素能力による心拍数の比較によって高い相関を得たが、もしこの関係を有酸素能力どうしで得られれば更に有効である。このことについての検討も今後の課題である。

参考文献

- 1) Åstrand, I., Aerobic Work Capacity in Men and Women with Special Reference to Age, Acta. Physiol., Scand., 49 (Suppl, 169), 1960.
- 2) Åstrand, P-O., and E.H. Christensen: Aerobic Work Capacity, in F. Dickens, E. Neil, and F.W. Widdas (eds.), "Oxygen in the Animal Organism," p. 295, Pergamon Press, New York, 1964.
- 3) Åstrand, P-O., and I. Ryhming: A Nomogram for Calculation of Aerobic Capacity (Physical Fitness) from Pulse Rate during Submaximal Work, J. Appl. Physiol., 7: 218, 1954.
- 4) Åstrand, P-O., and K. Rodahl, Textbook of work physiology, McGraw-Hill: New York, 1970.
- 5) Brožek, J., et al, Densitometric analysis of body composition review of some quantitative assumptions, Ann. N.Y. Acad. Sci, 110: 113-140, 1963.
- 6) Cooper, K.H., Effects of cigarette smoking on endurance performance, JAMA, 203: 189-192, 1968.
- 7) Cooper, K.H., The New Aerobics, 1970. M. Evans and Company, Inc., New York.
- 8) Cooper, K.H., J.G. Purdy, S.R. White, M.L. Pollock, and A.C. Linnerud, Age-fitness adjusted maximal heart rate, In Medicine and Sports the role of exercise in internal medicine, Brunner, D. J. and Jokl E. eds, Basal, 78-88, 1977.
- 9) Döbeln, W.V., I. Åstrand, A. Bergström: An analysis of age and other factors related to maximal oxygen uptake, J. Appl. physiol. 22, 934-938, 1967.
- 10) Fox, E.L.: A simple accurate technique for predicting maximal aerobic power, J. Appl. physiol. 35: 914-916, 1973.
- 11) 神山雄一郎, 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, 群馬県立女子大学紀要, 7: 113-123, 1987.
- 12) Margaria, R., P. Aghemo, and E. Rovelli, Indirect determination of maximal O_2 consumption in

- man, *J. Appl. physiol.* 20: 1070-1073, 1965.
- 13) Nagamine, S., and S. Suzuki, Anthropometry and body composition of Japanese young men and women, *Human Biol.*, 36: 8, 1964.
 - 14) 里見仁志, トレッドミル歩行法による仕事量と酸素需要量について, *神戸商大人文論集*, 11(1.2.3.), 1975.
 - 15) 山西哲郎, 桜井隆志, 神山雄一郎, 檜垣靖樹, 主婦と女子大生の身体活動量について, *群馬県保健体育学研究*, 8: 35-45, 1988.
 - 16) 山地啓司, *最大酸素摂取量の科学*, 1992, 杏林書院.

付表 十二分走時の HR の経時的変化

Name	(単位 拍/分)														
	1分値	2分値	3分値	4分値	5分値	6分値	7分値	8分値	9分値	10分値	11分値	12分値	回復1分	回復2分	回復3分
M. I.	152	174	179	182	185	188	188	190	190	190	192	193	184	157	143
K. H.	169	187	194	196	198	199	200	201	204	204	205	207	202	175	152
T. N.	144	181	187	190	192	193	194	195	196	202	204	209	196	162	150
F. T.	141	170	174	180	184	187	189	193	193	195	196	196	182	143	127
A. Y.	159	172	178	182	184	187	188	191	191	192	190	191	180	147	131
A. O.	174	187	193	199	203	204	204	205	206	205	203	203	193	173	162
S. O.	144	171	180	182	185	188	190	191	190	192	193	196	174	143	136
M. N.	161	187	192	191	190	189	191	190	193	194	194	196	179	151	—
Y. S.	156	166	186	191	192	196	197	196	198	199	202	203	180	152	147
S. F.	140	178	184	188	193	194	197	197	197	199	201	202	193	158	146
S. K.	178	189	192	192	192	193	192	189	190	187	185	188	172	145	—
E. Si.	149	174	185	187	189	195	197	198	199	196	196	190	174	151	144
N. Y.	177	195	199	201	203	203	204	204	204	206	206	209	198	172	156
M. A.	146	182	187	186	191	193	189	188	189	188	190	189	181	145	130
M. F.	183	195	198	203	203	207	209	211	210	209	212	215	211	195	185
M. S.	132	180	185	186	188	190	195	197	199	200	202	200	166	140	132
S. I.	155	176	180	186	188	192	194	197	198	199	201	202	188	162	148
K. S.	152	179	184	187	190	191	194	193	195	198	197	196	191	165	150
Y. I.	164	184	190	192	193	196	198	200	200	201	203	203	184	149	137
E. Su.	136	177	182	186	189	192	193	194	194	194	195	194	188	153	139
Y. A.	162	183	187	189	189	191	191	193	192	194	194	196	176	159	143
F. I.	165	189	195	194	194	195	194	195	195	195	198	200	191	173	166
K. K.	144	170	179	186	189	192	193	194	192	191	192	191	178	151	144
J. O.	141	173	181	186	192	192	196	197	199	201	201	204	179	154	136
H. S.	160	175	180	186	184	188	188	190	190	190	192	193	181	152	133
Y. K.	144	174	183	186	188	186	189	191	191	192	195	197	188	170	156
M. T.	176	199	203	203	204	205	205	208	209	209	211	212	191	161	161
M. K.	160	181	184	184	183	184	186	187	189	191	192	203	179	146	119
M. Tu.	163	180	187	186	187	189	190	190	191	191	193	198	192	161	151
T. T.	183	192	195	196	196	198	197	198	197	199	202	206	195	174	163
mean	157.0	180.7	186.8	189.4	191.3	193.2	194.4	195.4	196.0	196.8	197.9	199.4	185.5	158.0	146.0
S.D.	14.12	8.24	6.90	6.12	5.88	5.71	5.59	5.79	5.83	5.95	6.29	6.88	9.59	12.28	13.73