

## 身体活動における呼吸ガス代謝と 心機能との関係について (二)

川村仁視, 大山慈徳, 石垣尚男, 山田岳志, 若杉和彦

The Relationship Between Energy Metabolism And  
Cardiac Function At The Physical Activities.

(No. 2)

Hitoshi KAWAMURA, Hisao ISHIGAKI, Takeshi YAMADA,  
Kazuhiko WAKASUGI, Yasunori ŌYAMA

The time courses of oxygen intake, and carbon dioxide output in energy metabolism, heart rate and electrocardiographic function during recovery processes after the Runing Test and Harvard Step Test were investigated.

The decline of the recovery breath the number of time and oxygen intake was steeper than that of the recovery heart rate or R-R time, Q-T time, T-P time in electrocardiographic. And the time of recovery processes of sportsman was steeper than that of the recovery non sportsman.

Even after mild physical activities, recovery is necessary, owing to the "lag" is adjustment of the organism to new demands for oxygen during activities.

### 序 文

最近 International Biological Program においても世界各国, または各 地域 の人々の体力を比較するのに最大酸素摂取率を用いることが定められ, これに呼応してその Human Adaptability の研究班では, 地域間の最大酸素摂取量の比較研究が行われている。また, 伊原, 猪飼, 田村らは最大酸素摂取量を青少年男女の運動能力ないしは作業能力の最大限界の決定要素として取り上げている。

この最大酸素摂取量を中心とする呼吸ガス代謝は循環器系の中で最も重要な機能であり, これと結びついた心臓機能の働きは, これまた重要な存在である。我々は昨年よりこの二大循環器系の機能上の関連性についての研究にとりくんできた。昨年は被験者を運動選手に限定し, 身体活動後の回復過程において, 呼吸機能と心機能との間にいかなる関連性があるのか, Harvard Step Test により一応の結論づけを行なった。

それによると主な点は次の通りであった。

1) 身体活動後の回復過程は, 呼吸ガス代謝では運動後4分を初期回復期とし, 以後9分までを第2次回復

期として時間過程にともない段階づけられること。

2) 心機能の回復は, 呼吸機能の回復に1分ずつおくられて回復の時間過程を示すこと。

3) 心電図のS-T波の高さは, 呼気中の酸素濃度及び炭酸ガス濃度ときわめて関係が深い。

4) 安静時の呼吸数により酸素摂取率及び炭酸ガス発生率をある程度見きわめることができる。

5) 激しい身体活動は, 呼吸機能, 心機能共に第2次回復期に心筋の酸素欠乏が認められ, 両者の機能回復は, 10分後とみなすことができる。

このことは, 「第1報」にも述べてきたように個人差の問題や負荷条件によってもかなり大きな違いを生ずるものである。勿論, 被験者が特殊であり, 一般的に上記のことながらあてはまるとは考えられない。従って今年には, 被験者群に差を作り, 負荷条件にも変化をもたせ, 我々の初期の目的である呼吸機能と心機能との関連についてより明確なものを把握し, 継続研究として将来への一段階とすると共に, 体育実技指導及びスポーツ指導に対する一指針とするものである。

実験方法

実験期日 昭和45年5月~7月  
 被験者 本学々生 運動選手 11名  
           一般学生 9名

特に一般学生については、運動部員でなく過去にその経験のないものを抽出した。

使用器具 エレクトロメタボラー (福田理研式)  
 ポリグラフ (三栄測器式)

測定内容

- 1) 安静時における呼吸ガス代謝
  - 2) 安静時における心電図 II, V<sub>2</sub>.
  - 3) 身体活動中の呼吸ガス代謝
  - 4) 身体活動後の呼吸ガス代謝
- 遂時的 Running Test 20分  
 Harvared Step Test 30分

5) 身体活動後の心電図

遂時的 Running Test 20分  
 Harvared Step Test 30分

身体活動としての負荷条件.

- 1) 全身活動でかゝる準備運動程度の負荷として、その場での Running を1分間120歩の早さで5分間実施.
- 2) 激しい全身運動である Harvared Step Test を1分間120歩の早さで5分間実施. 台の高さ50.3cm
- 3) 安静時及び回復時の姿勢は椅子坐位を基本型とした. また, 1), 2) を行なう際歩調の乱れが生じないように注意するためメトロノームを使用した. 結果の整理にあたって, 心電図は, II, V<sub>2</sub> を測定したが, 前回同様, 第IILeadをもって集計した.

被 験 者 一 覧 表

(Table 1)

項目	区分	運 動 選 手													一 般 学 生									
		平均	S.A	H.A	O.I	K.I	N.K	O.K	H.S	N.B	S.H	N.H	Y.M	平均	T.M	S.N	K.Y	T.H	N.N	H.Y	Y.H	M.B	M.O	
身長 (cm)		169.88	171.0	170.0	173.0	172.0	167.5	157.1	170.0	173.0	176.1	167.0	172.0	167.5	174.5	163.5	166.5	164.0	167.0	167.5	171.5	163.5	170.0	
体重 (kg)		64.45	66.0	63.0	71.0	60.0	61.0	53.0	57.5	65.0	80.5	64.0	68.0	60.44	60.5	52.0	65.5	59.0	62.5	56.0	53.5	60.0	75.0	
胸囲 (cm)		91.36	95.0	88.0	96.0	87.5	89.0	89.0	92.0	87.0	96.5	92.0	93.0	86.11	87.0	81.0	88.5	86.5	86.0	81.0	83.5	86.0	95.5	
安 静 時 代 謝	標準換気量 (l/min)	7.801	7.62	5.89	7.61	9.58	7.13	6.94	7.00	9.73	9.45	7.45	7.41	7.446	7.23	7.08	8.76	7.08	7.91	6.34	6.66	8.21	7.74	
	VO <sub>2</sub> (l/min)	0.265	0.253	0.233	0.254	0.336	0.243	0.293	0.246	0.288	0.294	0.218	0.254	0.242	0.232	0.248	0.267	0.257	0.265	0.206	0.262	0.239	0.205	
	VCO <sub>2</sub> (l/min)	※0.225	0.202	0.177	0.208	0.285	0.214	0.258	0.221	0.264	0.249	0.195	0.205	※0.192	0.190	0.206	0.213	0.198	0.220	0.159	0.196	0.184	0.159	
	R・Q	※※0.851	0.795	0.763	0.820	0.850	0.880	0.880	0.897	0.920	0.850	0.890	0.810	※※0.791	0.819	0.830	0.801	0.770	0.833	0.771	0.744	0.770	0.779	
	呼吸数(回)	▲14.8	18.0	7.5	17.5	17.0	13.8	8.5	13.8	11.9	21.0	17.3	17.5	▲18.2	17.5	14.8	20.5	16.8	21.5	18.1	14.3	24.0	16.5	
心 電 図	心拍数(回)	※66.8	63.2	84.7	67.9	67.6	60.6	53.6	61.8	78.1	62.2	70.6	64.1	※85.8	75.2	85.0	64.1	115.0	80.6	85.7	94.6	72.5	99.7	
	R-R (sec)	0.912	0.950	0.708	0.883	0.888	0.990	1.120	0.971	0.768	0.964	0.850	0.938	0.719	0.798	0.706	0.936	0.522	0.744	0.700	0.634	0.828	0.602	
	Q-R (sec)	0.370	0.360	0.340	0.380	0.348	0.300	0.500	0.384	0.360	0.375	0.368	0.355	0.350	0.356	0.330	0.500	0.293	0.325	0.310	0.380	0.330	0.322	
	T-P (sec)	※※0.378	0.442	0.230	0.369	0.390	0.300	0.554	0.460	0.230	0.420	0.372	0.395	※※0.248	0.297	0.200	0.440	0.100	0.250	0.265	0.185	0.333	0.162	
	S-R高(mm)	9.05	11.7	12.0	11.0	5.4	10.0	8.0	11.0	10.0	8.0	5.5	7.0	7.99	10.5	6.0	8.0	6.5	7.0	5.5	8.1	7.4	13.0	
S-T高(mm)	2.61	3.0	2.8	1.7	1.1	2.5	5.5	3.1	3.0	2.5	1.5	2.0	3.09	4.0	3.0	2.3	3.5	2.0	2.0	1.5	4.0	5.5		
運 動 歴		野球7年	ゴルフ6年	野球6年	ゴルフ6年	野球8年	スキー8年	陸上7年	野球7年	陸上7年	野球7年	野球8年		ナシ	ナシ	ナシ	ナシ	ナシ	ナシ	ナシ	ナシ	ナシ	ナシ	

(※※=1% ※=5% ▲=10% 有意差有り)

結果と考察

本研究における被験者の身体的特質と安静時における呼吸ガス代謝及び心電図の状態は (Table 1.) に示した通りである. 最も一般的な安静時の換気量を運動選手と一般学生について比較してみると, 運動選手は一般学生よりも大きい. この原因の一つとしては呼吸の深さの相違がある. 運動選手は, 安静時において呼吸回数が少なく1回の換気量が多い. このために気道の死腔による空

気の無駄が少なくなり, ガス交換にあずかる肺胞換気量が増加する. 酸素摂取率をみても運動選手の方が高い. また炭酸ガス排出量においては, 一層高く5%の有意水準でその差が認められた. 呼吸商 (R・Q) についても1%の有意水準で差を認めることができた. これは換気量, 酸素摂取率等との関連において明らかな呼吸効率の差を示しているものである.

一般に運動選手の心電図にみられる R-R 間隔は洞性

徐脈により延長すると云われているが、ここにもその傾向をみる事ができる。1.0秒以上の徐脈もみられ、一般学生と比較すると明らかな徐脈傾向を示している。心拍数においては有意な差が認められ、R-R との共通点を見ることができる。心筋の興奮時間といわれる Q-T は、大きな差はみられず、心筋の休息時間と考えられる T-P に1%の有意差が認められた。R-R の徐脈傾向と心拍数が一般学生よりも少ない点と合せ、ここに一心拍による血液の拍出量の差をみる事ができる。尚、これ

にともない血液の酸素摂取量にも差があるものと思われる。

心電図にみられる運動選手と一般学生の差は、この T-P の時間延長にはっきりした違いを示し、これ自体スポーツ心臓の安静時における特質と考えられる。以上のように安静時における運動選手と一般学生の差は、呼吸機能、心機能共に明らかなものがあり、この呼吸機能と心機能との間には、前回の第一報にも述べてきたように深い関連性を示している。

一般学生の呼吸ガス代謝

(Table 2)

区分	Running Test								Harvard Step Test							
	換気量	O <sub>2</sub> %	CO <sub>2</sub> %	VO <sub>2</sub>	VCO <sub>2</sub>	VO <sub>2</sub> %	R.Q	呼吸数	換気量	O <sub>2</sub> %	CO <sub>2</sub> %	VO <sub>2</sub>	VCO <sub>2</sub>	VO <sub>2</sub> %	R.Q	呼吸数
1min	14.917	4.233	3.183	0.685	0.479	41.089	0.705	25.3	24.264	5.306	4.000	1.367	0.971	50.060	0.733	30.6
2min	19.683	4.844	3.656	1.025	0.743	54.910	0.739	27.4	43.813	4.917	4.578	2.185	1.904	43.437	0.904	33.1
3min	22.686	4.693	3.723	1.070	0.798	46.248	0.747	28.8	55.263	4.344	4.417	1.137	2.428	38.317	1.024	35.2
4min	23.071	4.483	3.662	1.077	0.846	42.144	0.738	29.9	63.482	4.094	4.122	2.547	2.597	35.687	1.017	40.7
5min	23.163	4.378	3.689	1.050	0.848	40.298	0.809	31.1	71.593	3.861	3.861	2.763	2.752	34.243	1.002	44.6

運動選手の呼吸ガス代謝

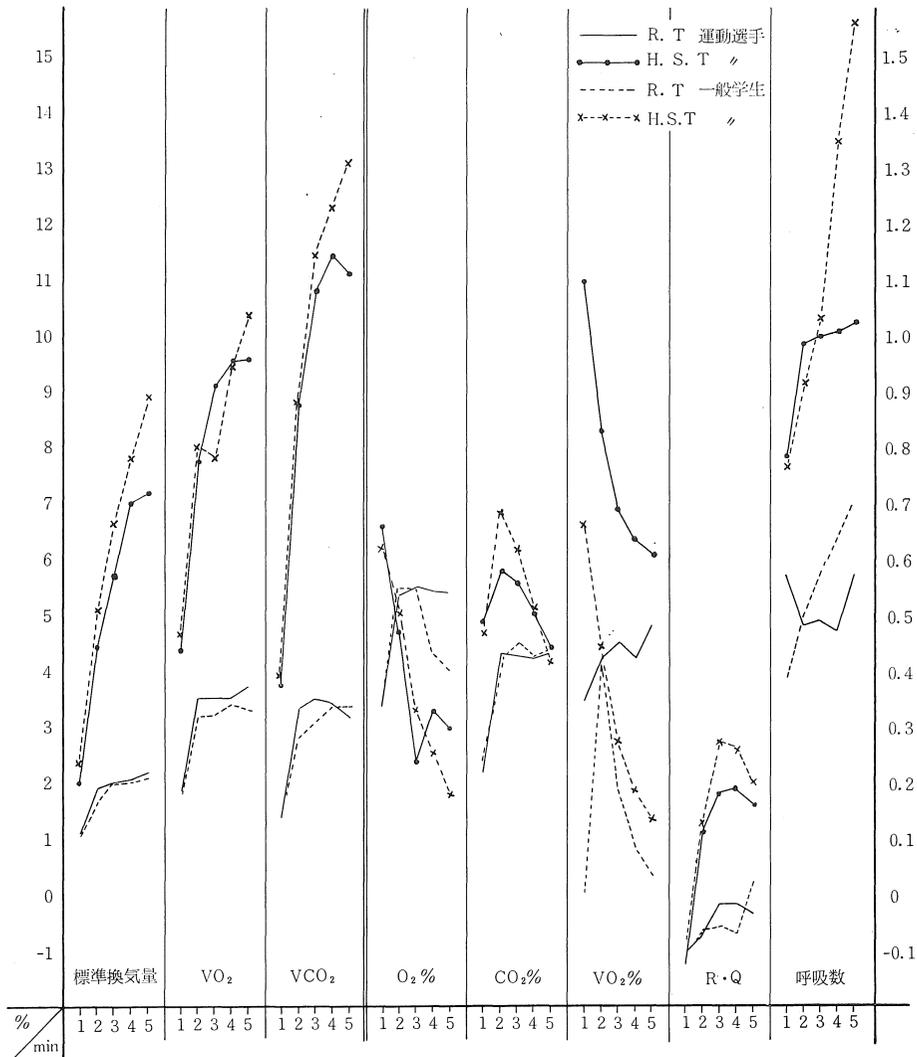
(Table 3)

区分	Running Test								Harvard Step Test							
	換気量	O <sub>2</sub> %	CO <sub>2</sub> %	VO <sub>2</sub>	VCO <sub>2</sub>	VO <sub>2</sub> %	R.Q	呼吸数	換気量	O <sub>2</sub> %	CO <sub>2</sub> %	VO <sub>2</sub>	VCO <sub>2</sub>	VO <sub>2</sub> %	R.Q	呼吸数
1min	16.203	4.420	3.551	0.762	0.540	40.975	0.767	23.3	24.909	5.073	4.045	1.353	1.015	47.438	0.756	29.5
2min	22.635	5.075	4.182	1.195	0.947	43.418	0.792	22.0	44.858	4.500	4.306	2.207	2.105	40.040	0.962	32.9
3min	23.769	4.795	4.166	1.182	1.016	44.326	0.841	22.1	55.116	3.786	4.241	2.547	2.553	37.425	1.021	34.0
4min	23.881	4.770	4.150	1.178	0.997	43.349	0.842	21.8	66.030	4.062	4.095	2.654	2.691	36.155	1.029	35.2
5min	24.748	4.895	4.181	1.245	0.941	45.127	0.825	23.3	67.535	3.987	3.930	2.659	2.611	35.653	1.004	38.0

安静時の呼吸機能の状態を基盤として、身体活動の負荷条件を変えた場合、機能的な変化はいかなる相異がみられるのであろうか。まず最もかるい全身活動とみなした5分間の Running Test (以下R.Tとする)によって起きる呼吸機能の変化及び、激運動としての Harvard Step Test (以下H.S.Tとする)によって起きる呼吸機能の変化は (Table 2) (Table 3) に示した通りである。ここにおいても先の安静時と同じように、運動選手と一般学生との差は、換気量、酸素摂取率、呼吸数等に時間的経過と共に見ることができる。特に運動選手の酸素摂取率、R・Q から呼吸効率の上昇をみることができ、これに対して一般学生は、2分目に急激な酸素摂取率の上昇がみられるが以後は下降を示している。H.S.T の場合には、両者共に酸素摂取率の低下、及び R・Q が1.0より上の数値を示していることから、呼吸効率の

低下を示していると見てよいであろう。以上のような差を心機能に対する負荷率としてみると、(Fig 1) に示した様になった。この図は安静時を基点0としたものであるが、運動選手と一般学生の間、負荷率による著しい差は認められない。しかし VO<sub>2</sub>%, O<sub>2</sub>%, R・Q 及び VO<sub>2</sub> にみられる曲線より、先にも述べたように運動選手は R.T のようなかるい運動を行なうことにより、むしろ呼吸効率の上昇を示すものと考えられる。一般学生は、O<sub>2</sub>%とVO<sub>2</sub>%の3分以後の下降曲線及びR・Qの4分以後の上昇から呼吸効率の低下をみることができ、H.S.T においてはこの図より、両者の間にはかなりの差があるとみるべきであろう。一般学生の換気量、VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>, 呼吸回数にみられる曲線の直線の上昇に対して、運動選手は、呼吸数については2分以後に、僅少の上昇状態を示し、他の項目についても3分ないし4

(Fig 1)



分以後に同じ傾向の上昇を見ることができる。重負荷に対しある一定状態に達した後(4分以後とみてよい)は、負荷の上昇度合は減少し、それ以上の負荷となり得ず、トレーニング等によって鍛練された呼吸機能の負荷減少傾向と見てよいであろう。

呼吸機能のトレーニング効果は、この呼吸効率からみることができる。呼吸効率は、酸素摂取量と換気量との比で、酸素摂取率が一つの指標となっている。猪飼らによれば、この酸素摂取率は3週間のトレーニングにより改善され、呼吸の効率が高度に発達していることが示されているが、先の呼吸機能の負荷減少傾向もこれに起因するものと考えられる。同じように VO<sub>2</sub>% に下降曲線を示しているが、運動開始1分後に両者の大きな差をみることができ、以後同じような差をもって低下をみることができ、従ってこの点から運動選手の呼吸効率の良

いことは明らかである。先にも述べた様に呼吸機能の負荷に最高値を指したと解せられる運動選手の4分目を一応 dead point とみることができ、また4分以後、数分後に second wind の状態がくることが予測される。しかし一般学生は、そのほとんどの者が、all out の状態に近く、dead point や second wind の問題を論ずることは困難な状態である。これは先に述べたと同じように呼吸機能へのトレーニング効果の現われである。

次いで両者の、R.TとH.S.Tによる負荷の差をみると、VO<sub>2</sub>%と呼吸数に著しい曲線の差をみることができ、これは先にも述べてきた、一般学生は、R.Tで呼吸機能に負荷がかかり、呼吸効率低下を示しているのに対して、運動選手は warm up と解することができる。一方の H.S.T は両者共最大の負荷がかかっている

一般学生の回復状態

(Table 4)

時間	ガス代謝								心電図					
	換気量	O <sub>2</sub> %	CO <sub>2</sub> %	V O <sub>2</sub>	VCO <sub>2</sub>	呼吸数	1心拍 V O <sub>2</sub> × 1000	心拍数	R-R	Q-T	QRS	T-P	ST高	
直後	23.163	4.378	3.689	1.050	0.848	31.1	9.020	119.4	0.509	0.277	0.050	0.077	0.260	
1 min	17.601	3.956	3.508	0.699	0.618	22.2	7.111	98.3	0.630	0.314	0.055	0.184	0.322	
2 min	16.957	2.902	2.828	0.369	0.361	21.9	3.888	94.9	0.647	0.323	0.056	0.196	0.309	
3 min	9.667	2.778	2.550	0.263	0.242	21.2	2.789	94.3	0.653	0.331	〃	0.191	0.297	
4 min	7.699	2.871	2.578	0.248	0.219	19.0	2.684	92.4	0.662	0.329	0.055	0.202	0.294	
5 min	8.548	2.911	2.488	0.258	0.212	20.6	2.774	93.0	0.657	0.327	〃	0.209	0.297	
6 min	8.753	2.838	2.468	0.253	0.216	21.0	2.712	93.3	0.656	0.329	0.056	0.200	0.302	
7 min	7.880	2.888	2.494	0.233	0.194	19.8	2.546	91.5	0.666	0.332	〃	0.208	0.288	
8 min	7.897	2.887	2.444	0.234	0.190	19.7	2.543	92.0	0.656	0.335	〃	0.202	0.278	
9 min	7.728	2.964	2.468	0.235	0.188	18.9	2.516	93.4	0.656	0.334	0.055	0.194	〃	
10 min	7.754	2.968	2.474	0.231	0.185	19.1	2.547	90.7	0.674	0.333	〃	0.206	0.280	
11 min	7.531	2.887	2.410	0.225	0.180	19.8	2.473	91.0	0.671	0.332	〃	0.209	0.274	
12 min	7.661	2.897	2.387	0.227	0.179	20.1	2.492	91.1	0.670	0.334	0.057	0.209	〃	
13 min	7.601	2.912	2.439	0.227	0.182	18.4	2.484	91.4	0.671	0.335	〃	0.217	〃	
14 min	7.543	2.928	2.437	0.228	0.182	19.7	2.505	91.0	0.672	0.334	〃	0.209	0.280	
15 min	7.644	2.913	2.411	0.228	0.182	19.2	〃	91.0	0.671	0.333	〃	〃	〃	
16 min	7.363	2.887	2.389	0.220	0.174	18.9	2.439	90.2	0.677	0.333	〃	0.215	0.297	
17 min	7.166	2.911	2.419	0.214	0.170	18.0	2.429	88.1	0.689	0.332	〃	0.226	0.302	
18 min	7.018	3.061	2.506	0.223	0.174	17.9	2.494	89.4	0.681	〃	0.056	0.217	〃	
19 min	7.477	3.011	2.450	0.236	0.178	17.6	2.655	88.9	0.687	〃	〃	0.223	〃	
20 min	7.067	3.067	2.483	0.224	0.173	17.6	2.540	88.2	0.692	0.331	〃	0.229	0.297	

時間	ガス代謝								心電図					
	換気量	O <sub>2</sub> %	CO <sub>2</sub> %	V O <sub>2</sub>	VCO <sub>2</sub>	呼吸数	1心拍 V O <sub>2</sub> × 1000	心拍数	R-R	Q-T	QRS	T-P	ST高	
直後	71.593	3.861	3.861	2.763	2.752	44.6	14.296	178.5	0.339	0.202	0.062	0.023	0.202	
1 min	50.517	3.311	3.794	1.561	1.887	37.0	10.136	154.0	0.394	0.247	0.074	0.040	0.255	
2 min	38.503	2.540	3.100	0.955	1.166	34.2	6.900	138.4	0.444	0.280	0.080	0.050	0.277	
3 min	27.307	2.433	2.744	0.636	0.755	30.2	4.926	129.1	0.472	0.305	0.081	0.062	0.237	
4 min	23.439	2.426	2.606	0.553	0.606	29.6	4.309	123.7	0.493	0.298	〃	0.072	0.180	
5 min	19.747	2.528	2.556	0.507	0.515	27.8	4.257	119.1	0.510	0.307	0.082	0.086	0.147	
6 min	17.603	2.617	2.533	0.460	0.443	25.7	3.925	117.2	0.517	0.314	〃	0.084	0.136	
7 min	16.974	2.628	2.494	0.458	0.432	25.8	3.965	115.5	0.525	0.312	0.081	〃	0.130	
8 min	14.694	2.739	2.500	0.408	0.366	22.7	3.585	113.8	0.530	0.317	0.082	0.087	0.113	
9 min	14.179	2.824	2.494	0.409	0.351	23.0	3.560	114.9	0.527	0.320	0.084	0.092	0.136	
10 min	13.151	2.827	2.500	0.392	0.327	22.8	3.528	111.1	0.546	0.323	〃	0.093	0.126	
11 min	12.719	2.913	2.483	0.382	0.314	21.4	3.387	112.8	0.538	0.322	〃	0.094	0.131	
12 min	11.866	2.978	2.461	0.367	0.290	21.0	3.309	110.9	0.547	0.325	〃	〃	0.130	
13 min	11.251	3.006	2.439	0.353	0.273	20.6	3.118	113.2	0.538	0.320	〃	0.090	0.138	
14 min	11.026	3.077	2.440	0.357	0.267	20.6	3.225	110.7	0.546	0.322	0.083	0.097	〃	
15 min	10.437	3.111	2.422	0.344	0.256	18.7	3.150	109.2	0.556	0.324	〃	0.098	0.141	
16 min	10.169	3.061	2.372	0.327	0.244	19.8	2.925	111.8	0.540	0.325	〃	0.093	0.138	
17 min	10.508	3.006	2.356	0.334	0.248	20.6	3.025	100.4	0.545	0.318	〃	0.108	0.131	
18 min	9.442	3.083	2.344	0.310	0.222	19.6	2.763	112.2	0.543	0.319	〃	0.104	0.140	
19 min	9.737	3.178	2.389	0.317	0.231	19.7	2.965	110.3	0.551	0.324	〃	0.100	0.133	
20 min	9.460	3.167	2.350	0.318	0.221	18.6	2.891	110.0	0.555	0.318	〃	0.108	0.154	
21 min	9.000	3.150	2.311	0.303	0.208	18.3	2.750	110.2	0.552	0.320	〃	0.103	0.160	
22 min	9.369	3.089	2.274	0.310	0.225	19.8	2.808	110.4	0.555	0.321	〃	0.110	0.158	
23 min	8.327	3.111	2.279	0.277	0.190	19.3	2.539	109.1	0.563	0.319	〃	0.117	0.159	
24 min	8.208	3.072	2.201	0.271	0.189	19.7	2.461	110.1	0.561	0.322	0.084	0.112	0.157	
25 min	8.542	3.186	2.270	0.281	0.194	19.1	2.555	110.0	0.554	0.320	〃	0.110	0.159	
26 min	8.330	3.183	2.256	0.283	0.190	19.6	2.587	109.4	0.557	0.321	〃	0.112	0.174	
27 min	8.229	3.117	2.256	0.279	0.188	19.4	2.520	110.7	0.549	0.319	〃	0.103	0.180	
28 min	8.462	3.211	2.311	0.293	0.194	19.0	2.673	109.6	0.555	0.320	〃	0.105	0.153	
29 min	8.019	3.167	2.311	0.278	0.179	18.6	2.567	108.3	0.557	0.316	〃	0.114	0.161	
30 min	7.516	3.276	2.283	0.271	0.176	17.9	2.473	109.6	0.558	0.315	〃	0.111	0.164	

## 運動選手の回復状態

(Table 5)

時間	ガ ス 代 謝							心 電 図					
	換気量	O <sub>2</sub> %	CO <sub>2</sub> %	V O <sub>2</sub>	VCO <sub>2</sub>	呼吸数	$\frac{1}{V O_2} \times 1000$	心拍数	R-R	Q-T	Q R S	T-P	S T 高
直後	24.748	4.895	4.181	1.245	0.941	23.3	11.932	98.8	0.623	0.311	0.073	0.166	0.240
1 min	18.046	4.230	3.871	0.765	0.696	19.1	11.055	69.2	0.884	0.343	0.077	0.373	0.245
2 min	12.321	3.157	3.145	0.375	0.380	16.9	5.539	67.6	0.907	0.367	〃	0.393	0.244
3 min	9.612	3.048	2.944	0.289	0.279	15.8	4.105	70.4	0.866	0.365	〃	0.350	0.245
4 min	8.879	3.061	2.845	0.272	0.249	16.2	3.853	70.6	0.869	0.359	〃	0.343	0.246
5 min	8.385	3.092	2.809	0.263	0.233	16.2	3.736	70.4	0.873	0.364	0.078	0.338	0.250
6 min	7.894	3.198	2.824	0.260	0.220	14.8	3.678	70.7	0.859	0.365	0.077	0.336	0.247
7 min	7.559	3.136	2.843	0.245	0.211	15.2	3.480	70.4	0.867	0.362	0.078	0.346	0.258
8 min	7.669	3.182	2.802	0.247	0.211	14.8	3.514	70.3	0.865	0.366	〃	0.341	0.251
9 min	7.171	3.238	2.754	0.234	0.188	15.1	3.300	70.9	0.859	0.363	〃	0.346	0.252
10 min	7.395	3.287	2.816	0.246	0.205	14.4	3.570	68.9	0.881	0.367	〃	0.360	0.251
11 min	6.891	3.350	2.847	0.227	0.191	14.5	3.319	68.4	0.884	0.365	0.077	0.358	0.251
12 min	7.160	3.315	2.815	0.245	0.199	15.1	3.525	69.5	0.876	0.367	〃	0.350	0.255
13 min	7.042	3.245	2.783	0.235	0.193	14.9	3.386	69.4	0.875	0.364	0.078	0.352	0.251
14 min	7.065	3.256	2.779	0.237	0.194	14.6	3.400	69.7	0.886	0.363	〃	0.368	0.252
15 min	7.141	3.284	2.825	0.239	0.196	14.7	3.444	69.4	0.873	0.366	〃	0.356	0.253
16 min	6.560	3.288	2.535	0.221	0.184	14.5	3.217	68.7	0.885	0.365	〃	0.361	0.251
17 min	6.662	3.215	2.739	0.218	0.180	14.6	3.137	69.5	0.875	0.364	〃	0.362	0.248
18 min	6.813	3.308	2.786	0.232	0.188	13.9	3.382	68.6	0.889	0.364	〃	0.366	0.254
19 min	6.495	3.191	2.765	0.215	0.176	14.0	3.107	69.2	0.876	0.361	〃	0.368	0.254
20 min	6.561	3.191	2.737	0.217	0.179	14.6	3.149	68.9	0.886	0.364	〃	0.368	0.247

時間	ガ ス 代 謝							心 電 図					
	換気量	O <sub>2</sub> %	CO <sub>2</sub> %	V O <sub>2</sub>	VCO <sub>2</sub>	呼吸数	$\frac{1}{V O_2} \times 1000$	心拍数	R-R	Q-T	Q R S	T-P	S T 高
直後	67.535	3.982	3.930	2.659	2.611	38.0	15.557	170.6	0.355	0.215	0.068	0.017	0.319
1 min	50.222	3.480	3.855	1.660	1.893	28.6	11.857	140.0	0.434	0.262	0.076	0.044	0.362
2 min	33.278	2.731	3.202	0.808	1.008	24.3	6.813	118.6	0.515	0.290	〃	0.068	0.374
3 min	22.309	2.503	2.903	0.498	0.638	22.5	4.565	109.1	0.560	0.304	0.077	0.103	0.246
4 min	17.325	2.536	2.777	0.406	0.463	20.4	3.841	105.7	0.585	0.318	〃	0.112	0.213
5 min	14.928	2.650	2.791	0.365	0.398	18.3	2.516	103.8	0.589	0.325	〃	0.104	0.185
6 min	13.933	2.667	2.709	0.339	0.356	19.1	3.893	102.5	0.595	0.328	〃	0.115	0.170
7 min	13.300	2.864	2.735	0.384	0.356	18.1	3.810	100.8	0.604	0.329	0.078	0.121	0.171
8 min	12.410	2.818	2.642	0.338	0.317	18.1	3.400	99.4	0.613	0.333	〃	0.129	0.180
9 min	11.442	2.815	2.552	0.320	0.273	17.2	3.219	99.4	0.612	〃	〃	0.132	0.187
10 min	10.410	2.885	2.564	0.304	0.257	17.2	3.089	98.4	0.618	〃	〃	0.127	0.199
11 min	9.394	2.873	2.495	0.280	0.232	16.5	2.800	100.0	0.609	0.334	〃	0.125	0.211
12 min	8.954	2.950	2.495	0.272	0.219	16.5	2.728	99.7	0.609	0.337	〃	0.127	0.210
13 min	8.920	2.970	2.422	0.273	0.206	16.9	2.814	97.0	0.626	0.339	〃	0.135	0.208
14 min	8.389	3.035	2.390	0.250	0.206	14.4	2.556	97.8	0.620	0.335	〃	0.133	0.224
15 min	8.562	2.995	2.353	0.277	0.210	15.8	2.853	97.1	0.627	0.341	〃	0.144	0.215
16 min	7.992	2.943	2.355	0.244	0.187	15.3	2.521	96.8	0.629	0.335	〃	〃	0.225
17 min	8.509	2.944	2.135	0.265	0.202	15.8	2.724	97.3	0.625	0.337	〃	0.142	0.230
18 min	8.036	3.025	2.388	0.256	0.189	15.1	2.623	97.6	0.621	0.334	〃	0.140	0.224
19 min	8.293	3.095	2.416	0.265	0.196	15.7	2.772	95.6	0.639	0.337	〃	0.148	0.221
20 min	8.282	3.157	2.436	0.252	0.189	15.6	2.661	94.7	0.643	0.336	〃	0.161	0.230
21 min	7.896	3.121	2.345	0.247	0.175	15.3	2.697	91.6	0.669	0.344	〃	0.179	0.225
22 min	7.846	2.891	2.350	0.221	0.169	16.4	2.364	93.5	0.659	0.342	〃	0.173	0.229
23 min	7.324	3.032	2.366	0.218	0.162	15.5	2.390	91.2	0.679	0.344	〃	0.188	0.229
24 min	6.564	3.195	2.432	0.215	0.181	15.6	2.270	94.7	0.646	0.339	0.076	0.158	0.231
25 min	6.539	3.105	2.338	0.215	0.149	15.1	2.290	93.9	0.653	0.337	〃	0.164	0.241
26 min	6.449	3.035	2.285	0.214	0.142	14.8	2.281	93.8	0.655	0.339	〃	0.163	0.225
27 min	7.393	3.210	2.378	0.248	0.168	16.2	2.696	92.0	0.675	0.440	〃	0.181	0.241
28 min	6.708	3.103	2.386	0.255	0.162	15.6	2.772	92.0	0.667	0.340	〃	0.175	0.236
29 min	6.892	3.060	2.375	0.252	0.185	15.6	2.765	91.5	0.673	0.345	〃	0.182	0.240
30 min	6.613	3.020	2.365	0.225	0.164	15.0	2.811	90.7	0.688	0.339	〃	0.190	0.245

と見るべきであろう。なお、これについては先の (Table 2) (Table 3) の実測値よりはっきりした差をみることができる。

以上のような負荷が、身体活動後どのように変化して回復を示すのであろうか。また心機能との関連において示す回復過程は、いかなる曲線を示すのか。回復過程の変化は、(Table 4) 及び (Table 5) に示した如くである。この表をもとに、安静時との差の検定を時間経過を追って行なった。その結果、5%の有意水準で、安静時との間に差が認められなくなった時を一応回復の時刻と定め (Table 6) に示した。R.T.においては、一般学生の換気量の回復が一番遅く、呼吸数の回復の早いことから、深呼吸をしていることがわかる。呼吸機能の完全な回復は、一般学生は7分、運動選手は5分とみることができる。また、一般学生は呼吸機能の項目別の回復に時間的差を大きく示しているが、運動選手はこの項目別の時間差は少ない。これは先の呼吸効率に大いに関連性があり、呼吸効率の良い者ほど回復は早く、機能上の回復時間差も少いと見るべきであろう。一方、心機能については、Q,R,S, S-T波の高さ、S-R波の高さには、運動による有意な差が認められなかった。一般学生ではT-Pの回復が最も早く、他の心拍数、R-R, Q-Tも1分以内に回復をみることができる。運動選手は、Q-T, T-Pの回復が早く、心拍数、R-Rが1分以内の回復である。これは、拍出量によっても異なってくると思われる。トレーニングによる心容積の増大も考えなくては

ならない問題である。

次いで H.S.T.についてみると一般学生と運動選手の間には非常に大きな差がみられる。R.T.と同じように一般学生の呼吸機能の項目別回復時間の差は著しく大きい。換気量と  $VO_2$  に見られる回復時間の遅延は、呼吸効率の完全な低下から起きてくる現象であろう。従って呼吸機能回復は23分とみることができる。運動選手の場合は呼吸効率の完全な低下はないものと判断できる。わずかな効率低下の故に回復は早く10分とみてよいであろう。心機能の回復は、一般学生においては、T-P, ST高に30分以内の回復がみられないことから、30分で心機能は回復していないと思われる。運動選手のQ-Tの遅延は、安静時のQ-Tの延長が起因しているものと思われるのでこの時間をそのまま考えることは、不適当であろう。ST高の回復が早いので心筋の疲労状態は早く回復しているとみてよいであろう。しかし完全な心機能の回復を30分以内でみることは困難である。一般学生よりは、確かに早い回復状態を示していることだけは事実である。R.T.のような軽い運動においては、心機能の負荷は少なく、回復も非常に早い。呼吸機能は、かなりの負荷がかかり回復も遅い。また、身体活動の強弱にかかわらず、トレーニングによる呼吸効率の差がみられる。身体活動後の回復過程より、回復率を求め、図示したものが、(Fig 2) (Fig 3) (Fig 4) (Fig 5) である。この図はいつでも回復の流れをみるために、凹凸をなくし、その中点より求めた曲線である。(Fig 2)

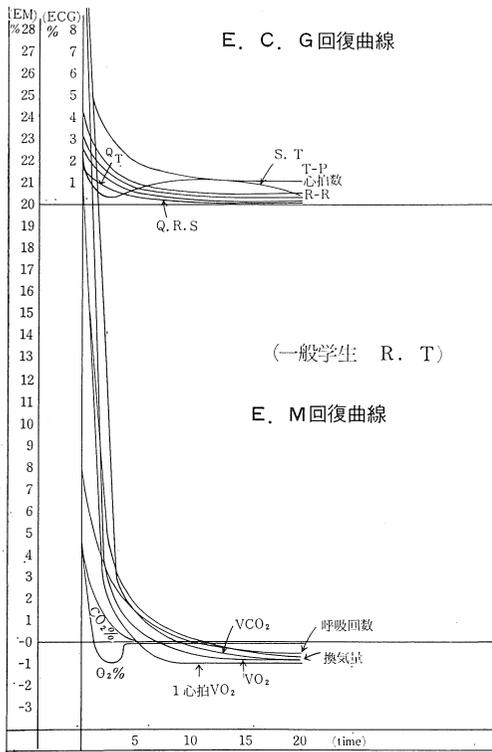
回復過程において安静時に復す時間

(Table 6)

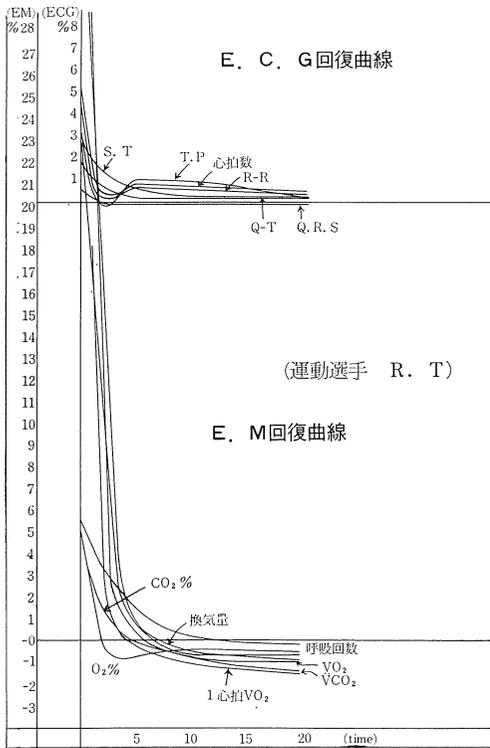
	Running Test		Harvard Step Test	
	一般学生	運動選手	一般学生	運動選手
換気量	7分	4分	23分	10分
O <sub>2</sub> %	2分	3分	12分	5分
CO <sub>2</sub> %	2分	2分	2分	2分
VO <sub>2</sub>	3分	3分	23分	5分
VCO <sub>2</sub>	5分	4分	18分	9分
呼吸数	1分	2分	8分	5分
RQ	5分	5分	9分	9分
心拍数	1分	1分	30分回復せず	同左
R-R	1分	1分	30分回復せず	同左
Q-T	1分	30秒	5分	21分
Q,R,S	運動による有意差なし	同左	2分	運動による有意差なし
T-P	30秒	30秒	30分回復せず	同左
ST高	運動による有意差なし	同左	30分回復せず	10分
SR高	運動による有意差なし	同左	運動による有意差なし	同左

有意水準 5%

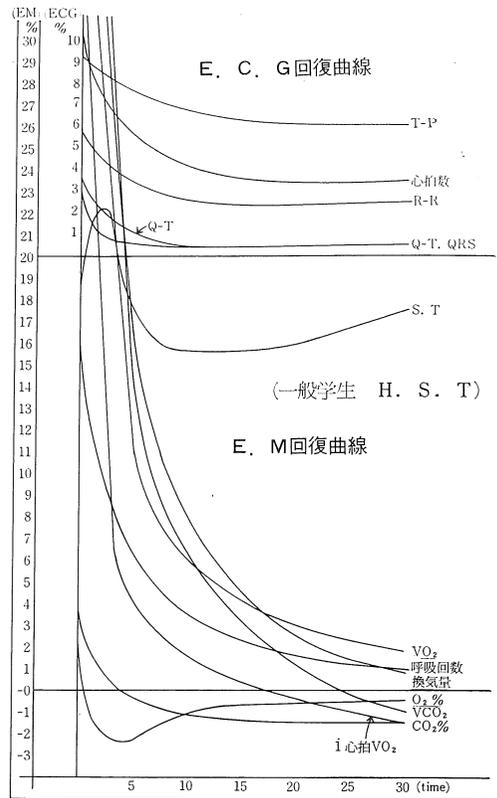
(Fig 2)



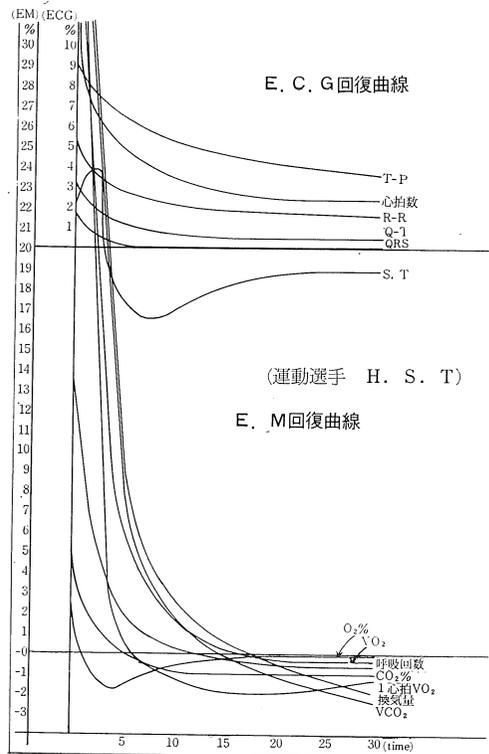
(Fig 3)



(Fig 4)



(Fig 5)



は一般学生の R.T 後の回復曲線である。この図をみても先の心機能の回復が先行し、呼吸機能は、身体活動後急激な下降をしてから、心機能を追う様な形で回復していることが判別できる。(Fig 3) は運動選手の R.T 後の回復曲線である。心機能の回復が、急激な下降を示し、再びわずかな上昇を示してから定常状態になっているのが目立つ現象である。これは、かるい身体活動で心機能が warm up の状態になったものが、後に来る負荷がないため、機能の過剰作用となり、この様な現象となったものと思われる。(Fig 2) と比較してみると心機能の差が大きく見られる。(Fig 4) は、一般学生の H.S.T 後の回復曲線である。この図からも心機能の回復の遅延がよくわかる。先の (Fig 2) と同じ傾向が、心機能と呼吸機能との間にみられるのであるが回復率は先の図と著しく異なっている。(Fig 5) は、運動選手の H.S.T 後の回復曲線である。呼吸機能の早期回復が明瞭である。先の (Fig 3) と比較し著しい差を認めることができる。また (Fig 4) と比較すると、呼吸機能、

心機能共に回復が早く、30分目にみられる残り負荷も運動選手の方がはるかに少ないことがわかる。この (Fig 4) 及び (Fig 5) より、運動ののち、およそ10分で、急激な回復過程が終り、あとは徐々に回復をしてゆく傾向が多いのでこの最初の10分間を指数方程式及び対数方程式であらわすことができる。各項目ごとに表わされる方程式は、(Table 7) の通りである。この指数方程式は、

$$Y = ae^{-kt} + b$$

Y = 回復時のある時点における数値 a, b, k はそれぞれ  
 常数

t = 時間 (分)

この指数方程式で k が大きく、b が小さくなる程 Y の値が小さくなる。このときには、その曲線の下降の傾斜が急になり、運動後の回復が早いということになる。また a が同じであるならば、その両者には相関があると見てよい。従って一般学生の心拍数、換気量、VCO<sub>2</sub> の回復率には相関があり、ただ時間的なずれに違いがあると

(Table 7)

	一般学生	運動選手
心拍数	$y = \frac{1}{2} \cdot 2^{-(x-7.7)} + 3.6$	$y = \frac{1}{2} \cdot 2.4^{-(x-6.2)} + 3.3$
R - R	$y = \log_{2.5} (x + 0.8)^{-1} + 5.0$	$y = \log_{2.8} (x + 0.4)^{-1} + 4.4$
T - P	$y = \log_{2.7} (x + 1)^{-1} + 9.1$	$y = \log_2 (x + 1.3)^{-1} + 9.0$
Q - T	$y = \frac{1}{2} \cdot 3^{-(x-3.8)} + 0.6$	$y = \log_{2.5} (x + 0.4)^{-1} + 4.5$
Q · R · S	$y = \frac{1}{2} \cdot 6.8^{-(x-1.6)} + 0.3$	$y = \log_{2.3} (x + 2.2)^{-1} + 2.4$
S · T · 高	2分30秒～6分まで $y = \frac{1}{2} \cdot 4^{-(x-6.5)} - 4.6$	2分～6分30秒まで $y = \frac{1}{2} \cdot 4^{-(x-6)} - 4.0$
		10分～30分 $y = \log_{3.5} (x - 7.3) - 3.3$
換気量	$y = \frac{1}{2} \cdot 2^{-(x-14.6)} + 4.2$	$y = \frac{1}{2} \cdot 2.1^{-(x-12.5)} + 1.4$
O <sub>2</sub> %	直後～3分まで $y = \frac{1}{2} \cdot 4^{-(x-3.4)} - 3.3$	直後～3分30秒まで $y = \frac{1}{2} \cdot 4^{-(x-3.5)} - 2.3$
	10分～30分 $y = \log_{3.7} (x - 7) - 3.4$	5分～13分まで $y = \log_{3.5} (x - 3.2) - 1.8$
CO <sub>2</sub> %	$y = \frac{1}{2} \cdot 2.5^{-(x-5.2)} - 1.2$	$y = \frac{1}{2} \cdot 2^{-(x-7.6)} - 1.2$
VO <sub>2</sub>	$y = \frac{1}{2} \cdot 1.5^{-(x-19.4)} + 2.9$	$y = \frac{1}{2} \cdot 2^{-(x-11.6)} + 0.8$
VCO <sub>2</sub>	$y = \frac{1}{2} \cdot 2^{-(x-14.6)} + 4.2$	$y = \frac{1}{2} \cdot 2.1^{-(x-12.6)} + 0.7$
呼吸数	$y = \frac{1}{2} \cdot 1.5^{-(x-16.5)} + 1.5$	$y = \frac{1}{2} \cdot 2^{-(x-9.5)} - 0.4$
1心拍VO <sub>2</sub>	$y = \log_{1.7} (x - 2.9)^{-1} + 5.3$	$y = \log_2 (x - 5.2)^{-1} + 1.9$

みてよい。対数方程式も同じ見方で良い。

ここで我々の導き出した方程式をまとめてみると、指数方程式としては

$$Y = ae^{-(x-t)} + b \dots\dots\dots(1)$$

( $-(x-t)$ をJohnson は $-Kt$ としている)

対数方程式は、

$$Y = \log a (x \pm t)^{-1} \pm b \dots\dots\dots(2)$$

となり、この(1), (2)の方程式のいずれかによって、呼吸機能の回復、心機能の回復共に処理できる。一般に循環機能の良い、トレーニングを行ってきた運動選手は、指数方程式において  $(x-t)$  が大きく、 $b$  が小さくなり、非鍛練者は  $(x-t)$  が小さく、 $b$  が大きくなると考えられる。

今後この方程式については、もう少し検討を加えたいと思っている。今回の結果としては、対数方程式と指数方程式を比較した場合、対数の方が回復が遅い。いいかえるならば、回復の量が少く、指数方程式で表わされたものが回復の量が多く、また回復が早いといえる。特に先述したように係数  $a$  が同じであるならば、回復の過程において相関があることを示している。また、対数、指数ともに出発点 ( $X$ 軸、 $Y$ 軸) が同じであるならば、係数の小さい方が回復が早いことを示している。

結 論

今回の実験研究の結果、下記の点が明らかになった。

- 1) 一般学生は、かるいR.Tでさえ呼吸機能の低下を示し、激運動の H.S.T では、完全な機能低下を示している。従って急激な、しかも負荷が最高と思われる運動については前もってのトレーニングが必要である。この観点より低年齢になる程この効率が悪い。指導者は十分な準備と注意が必要である。
- 2) かるい身体活動では、心機能の回復が早期に行なわれ、呼吸機能の回復は遅れている。しかし激運動では、この逆の回復過程を示す。心機能の回復は、一般学生では30分経過しても完全な回復をみる事ができないが、運動選手では、30分ではほぼ回復に近いと解することができる。
- 3) 呼吸機能の効率、心機能の効率は、トレーニング効果に大きく期待できる。
- 4) 安静時の呼吸効率を知ることによって、身体活動の負荷条件を決定することができる。

5.) 指数方程式  $Y = ae^{-(x-t)} + b$   
 対数方程式  $Y = \log a (x \pm t)^{-1} \pm b$

により、循環機能の良否を判定することが可能である。また回復状態を知ることもできる。

以上結論として主な点をあげたが、特に方程式については、もう少し簡単に適格なものをつかむ必要があると思われる。またこの、指数と対数両者の関連性と、機能間の関連性について究明の必要がある。また個人差の基本的な要因等、前回にも増して幾多な問題点が生じてきたので今後の課題として、継続研究を行ないより明確なものにしたいと思う。

参考文献

猪飼道夫他 「スポーツの生理学」 同文書院  
 猪飼道夫他 “筋力の生理的限界の筋電図学的研究” 体育学研究 第5巻  
 猪飼道夫他 「運動生理学入門」 体育の科学社  
 中西光雄 「体育生理学実験」 技術書院  
 竹中哲夫 「スポーツ医学」 道遙書院  
 梅田博道 「肺機能検査」 中外医学社  
 時実利彦他 「筋電図の臨床」 協同医学出版  
 木村・和田 「心電図とその推理」 南山堂  
 E. Grey, Dimond 「図解運動負荷心電図」 永井書店  
 朝倉哲彦 「脳波、心電図、筋電図」 南江堂  
 久松栄一郎 「スポーツ医学」 体育の科学社  
 福田邦三 「人体生理学」 南山堂  
 問田直幹他 「新生理学下巻」 医学書院  
 朝比奈一男他 「運動生理学」 大修館書店  
 猪飼道夫他 「運動の生理」 大修館書店  
 古屋芳雄他 「医学統計法」 金原出版  
 大石三四郎 「体育統計学」 I. II 道遙書院  
 W. R. Johnson “Science and Medicine of Exercise and Sports” Harper & Row, Publishers.  
 L. E. Morehouse “Physiology of exercise” A. T. Miller. C. V. Mosby Co.  
 Karpovich “Physiology of muscular activity” W. B. Sanders Co.  
 Hill, A. V. “The maximum work and mechanical efficiency of human muscles, and their most economical speed” J. physiol.