M. IKAI, S. EBASHI, and H. KAGAYA, et al:
Optimal Exercise Standards for Physical
Fitness of Youth. No. 2. The Limiting
Factors of Endurance.

トレッドミル法による青少年の 運動処方に関する研究 第2報

持久性の限界因子の究明

東京大学 猪飼 道夫・江橋慎四郎・加賀谷熙彦・丹羽 昇
菊地 邦雄・浅見 高明・石井 喜八・宮下 充正
芝山秀太郎・金子 公宥・中村 淳子・浅野 勝己
武田 悦子

実験目的

第一報¹⁾で、性・年齢別の最大持久走時間の報告をおこなった。トレッドミル最大持久走時間が全身持久性の指標となりうることにについては前回の報告でのべたが、その持久走時間が、生理的に何を意味しているかを究明しなくてはならない。

従来、持久性の評価に用いられているハーバードステップテストのように、被検者に一定の負荷を与えて、その反応をみることにより、身体の余力をみようとすることにたいして、最大持久走時間の測定は、個人の最大能力をみるという点で特徴がある。最大能力は、「疲労困憊」にいたるまでということではなく、一定の速度の走行が不能になるまでという意味である。

この最大持久走における生理機能の変化をとらえることによつて、最大持久走時間を規定する因子を究明しようということが本研究

の目的である。

実験方法

1 最大持久走時間の測定

第一報にのべたように、8.6%の傾斜をもつトレッドミル上を一定の速度で走行し、走行の持続ができなくなるまでの時間を測定した。

2. 呼吸循環機能の測定(写真1)

走行前・中・後期にわたつて心電図を胸部誘導で記録した。

ダグラスバッグ法によつて呼吸を採気し、労研式ガス分析器で分析した。採気時間は、安静時5分、運動中は1分毎、回復期には、1分、2分、3分、4分、10分の間隔にした。

マスクの呼吸弁の先にサーミスターを固定し、温度の変化による抵抗値の変化を利用して呼吸曲線を記録した。

えられた記録を次の項目について分析した。

写真 1 トレッドミル法による持久性の測定
実景

1) 心拍数変動: 運動中, 回復初期は5秒ずつ, 回復後期は30秒ずつの R-R 間隔を数え, 毎分心拍数に換算した。

2) 呼吸数変動: 運動中, 回復初期は30秒ずつ呼吸曲線を数え, 毎分呼吸数に換算した。

3) 換気量, 一回換気量: 一回換気量は, 一回呼吸した場合に何 l の呼気量を排出したかを示すものであり, 次の方式でもとめた。

$$\text{一回換気量} = \frac{\text{毎分換気量}}{\text{毎分呼吸数}}$$

これは, 換気の効率をしめしている。

4) 酸素摂取量と酸素摂取率:

酸素摂取率は, 毎分換気量 1 l からどれだけの酸素を摂取できるかをしめすものであり呼吸の効率をあらわしている。

従来, 呼吸当量と呼ばれているものが, 毎分の酸素摂取量 100cc について, 換気量が何

l 必要であるかをしめしているのにたいし, 酸素摂取率はそれを逆数的にしめたもので次の方式でえられる。

$$\text{酸素摂取率} = \frac{\text{毎分酸素摂取量}}{\text{毎分換気量}}$$

5) 酸素脈:

筋運動にともなう酸素の需要をみたすために, 心拍数の増加と心拍出量の増加があらわれる。心拍数の測定は, 心電図の記録から可能である。心拍出量の測定は, フイツクの原理を用いて, 直接的には, 心臓カテーテル法, 間接的にはグロールマンの方法があるが, これらの方法は装置が複雑であり, 急激な運動の測定には用いられない。そこで, 次の方式にしたがい, 心拍出量を推定する方法が用いられている。

$$\text{酸素脈} = \frac{\text{毎分酸素摂取量}}{\text{毎分心拍数}}$$

これは, 心臓が一回の拍動で, どれだけの酸素量を拍出したかをしめしている。

被 検 者

被検者には, 健康な一般青年男子 (24~30才) 5名, 鍛練者として, オリンピック候補陸上長距離選手1名, 東大陸上部中距離選手1名, 高校スキーアルペン選手1名をえらんだ。

実験結果

1. 最大持久走時間

第一報⁷⁾にのべた手順で各被検者は, 最大持久走を行なった。その結果は, 第1表, 第1図にしめす。

第1表 各被検者の最大持久走時間

Sub.	m/min.	180	200	220	240	260
T.K.		—	—	—	21'09"	6'58"
GO		—	—	—	7'56"	4'51"
SASAYAMA		—	—	7'02"	3'15"	2'24"
KAGAYA		—	10'28"	4'41"	2'34"	—
MIYASHITA		4'15"	2'30"	2'06"	—	—

Relationship Between Various Speeds and All-out Time

第1図 鍛練者と非鍛練者の最大持久走時間の比較。実線は鍛練者、点破線は一般青年をしめす

ここで、持久走時間には個人差があり、さらに一般青年と運動選手との差、一流選手とその他の被検者との差が明らかにみとめられた。たとえば、オリンピック候補のT.K.は、240m/分の速度で21分09秒の最大持久走時間をしめしているが、東大選手のGOは7分56秒である。非鍛練者の加賀谷は、同速度で2分34秒と走行時間が短い。

2. 呼吸循環機能

最大持久走時の呼吸循環機能の測定をおこない次の結果をえた。

1) 心拍数

最大持久走の際、心拍数変動からみて、心臓は最大限にまで働いている状態であることがうかがえる。

たとえば、被検者・石井は、180m/分の速度では5分55秒でオールアウトになったが、その時の心拍数は200に近い。200m/分速度では、4分11秒でオールアウトになり、その心拍数は、180m/分のときとほとんど変らな

Heart Rate of The All-out Treadmill Run

第2図 3速度の最大持久走における心拍数変動

い。220m/分の速度でも、持久走時間は2分49秒と低下したが、終了時の心拍数は、ほとんど変わらず200をしめしている(第2図)。

したがって、速度は異つて運動時間は変わつてきても、終了時の心拍数は約200という活動水準をしめしているといえる。これは、心臓が、持久走の限界因子の1つとして働いていることを意味している。

同様に、被検者加賀谷は、200m/分、220m/分、220m/分の速度で最大持久走を行ない、その結果、9分01秒、4分20秒および3分07秒の持久走時間をえた。その時の心拍数はいづれも204をしめしている。特に240m/分×3'07"では、心拍数の急激な増加がみとめられている。これは、心臓の限界的因子が早期にあらわれたといえよう(第3図)。

Heart Rate of The All-out Treadmill Run

第3図 3速度の最大持久走における心拍数変動

第2表 最大持久走時間と心拍数

	age	speed (m/min.)	all-out time	heart rate
MIYASHITA	26	160	5'03"	188
		180	2'51"	184
		200	1'57"	184
KAGAYA	26	200	9'01"	206
		220	4'20"	203
		240	3'07"	208
KANEKO	24	180	5'01"	187
		200	3'13"	194
		220	2'30"	197
ASAMI	25	180	5'24"	204
		200	4'15"	192
		220	3'12"	192
ISHII	30	180	5'55"	200
		200	4'11"	198
		220	2'49"	196

以上のような測定を各被検者に行ない、その結果、同一被検者では、異なる速度で走行を続ける時、その持久走時間は変わつても、終了時心拍数は、ほとんど変わらないということがえられた(第2表)。そして、一般に、最高心拍数は、190~200ということがわかった。

同様のテストを、特別のトレーニングを行なっている陸上選手について行つた。

GO(第4図)は、大学陸上中・長距離選手であるが、240m/分、260m/分の速度でそれ

第4図 2速度における最大持久走時の心拍数変動
被検者: GO (東大陸上選手)

ぞれ7分56秒、4分51秒の最大持久走時間をしめしたが、その時の終了時心拍数は、192と変わらない。

K.S.(第5図)は、高校のスキー選手である。この被検者も、240m/分、260m/分の速度で、3分15秒、2分24秒の持久走時間をしめし、心拍数は、192に上昇した。しかし、220m/分速度では、心拍数が200近くまで上昇している。おそらく、この被検者では、速度が240m/分、260m/分という高い場合には、心臓の働きの限界点に到達する以前に脚筋力のスピード適応に破綻をきたしたのではないかと考えられる。

第5図 3速度における最大持久走時の心拍数変動
被検者: K.S. (高校スキー)

T.K.(第6図)は、一流の長距離ランナーであるが、持久走時間は、240m/分の速度で21分09秒、260m/分の速度で6分58秒と一般青年の到底及びもつかない成績である。心拍数は二速度において188, 185をしめした。

以上のことから、心拍数の上限は、鍛錬者でも非鍛錬者でも、ほぼ一定の数値をしめすことが明らかになった。

2) 呼吸数, 換気量, 酸素摂取量, 一回換気量, 酸素摂取率, 酸素脈

これらの項目については、単独で結果をしめすよりも、各項目の関連をみながら検討していく方がよいと考えられる。

第6図 2速度における最大持久走時の心拍数 (長距離選手, T.K.)

第7図 2速度における最大持久走時の呼吸数と、一回換気量 (長距離選手 T.K.)

鍛錬者として、T.K.の呼吸数変動と換気量の変動を第7図に示した。240m/分の速度で、走行開始と同時に、呼吸数は走行前の16から45ぐらいに高まり、10分以後には50近くなる。そしてオールアウト近くなると急激な増加をしめして60に近づき、ついに60をこえてオールアウトになっている。

この時の換気量をみると、第8図に示すように低下がみられる。これは、一回換気量

の低下をしめし、換気の効率のはなはだしい低下を意味している。また、260m/分の速度のテストでは、240m/分の速度でみられた経過が早くなつて、呼吸数は3分くらいまでは46を保っているが5分をこえる頃から急激に増加し、50以上になりオールアウトの近くで60をこえている。

したがって、呼吸数の急激な増加は、不利な状態のあらわれたことを意味している。

第8図は、同被検者のオールアウト走時の換気量、酸素摂取量、酸素摂取率の変動をしめたものである。

換気量、酸素摂取量は、時間の経過にしたがつて増加し、オールアウト時に減少している。酸素摂取率は、オールアウト時に低下している。240m/分の速度では33.8、260m/分の速度では36.2であつた。

第9図は、酸素摂取量、心拍数、酸素脈の関係をしめた。心拍数がオールアウト時に最高値をしめたのにたいし、酸素摂取量は

第8図 2速度における最大持久走時の毎分換気量、酸素摂取量、酸素摂取率上の実線は毎分換気量、次の点破線は酸素摂取量、下の破線は酸素摂取率の変動をしめす (長距離選手 T.K.)

第9図 2速度における最大持久走時の心拍数、酸素摂取量、酸素脈、上から心拍数、酸素摂取量、酸素脈の変動をしめす(長距離選手 T.K.)

第10図 換気量、呼吸数、一回換気量。上から毎分換気量、一回換気量、呼吸数変動をしめす(一般青年)

第11図 換気量、酸素摂取量、酸素摂取率。上から毎分換気量、酸素摂取量、酸素摂取率の変動をしめす(一般青年)

減少するので、酸素脈は低下している。2速度において酸素脈は、オールアウト時にほぼ18をしめした。

次に一般青年として被検者宮下についての呼吸数、換気量、一回換気量の関係を第10図に示す。175m/分の速度で、最大持久走時間は4分45秒である。呼吸数は、走行開始後37.0であるが次第に増加し、オールアウト時には67に達している、換気量は、3分ではほぼ80lに達し、終了時でもほとんど変らない。したがって、一回換気量は減少してオールアウトに追いこまれている。

次にしめす第11図は、同じ被検者についての、換気量、酸素摂取量、酸素摂取率の関係をしめしたものである。換気量、酸素摂取量は、ともに走行開始後次第に増加し、オールアウト時には高い値をしめし、オールアウトに追いこまれている。一方、酸素摂取率は、時間とともに減少し、オールアウト時には31.0なっている。

第12図は、心拍数、酸素摂取量、酸素脈をしめしたものである。心拍数は、安静時に65であるが、走行開始後1分で139に上昇し、その後次第に増加しオールアウト時に183に達している。心拍数が比較的低い値でオールアウトにいたっているため、酸素脈もオールアウト時に低下をしめしていない。このことは、おそらく、被検者の心臓機能が低下するよりもはやく、脚筋の持久性に限界の状態が招来されたのではないかと考えられる。

第3表及び第13図は被検者加賀

第3表 最大持久走時の酸素摂取率（一般青年）

m/min.	Rest	w-up	rest	1'	1'	1'	1'	1'	1'	1'	1'	1'	all-out time
200	42.1	46.6	37.5	41.3	43.6	39.2	37.4	35.7	36.4	37.1	33.9	32.9	9'01"
220	39.5	45.1	38.0	42.0	39.0	30.7	32.0	30.2	/	/	/	/	4'20"
240	39.4	48.7	36.5	39.8	36.1	31.8	/	/	/	/	/	/	3'07"

第12図 酸素摂取量，酸素脈，心拍数，上から心拍数，酸素摂取量，酸素脈をしめす（一般青年）

第13図 酸素摂取率，3種の速度で最大持久走を行つている（一般青年）

谷が，3種の異なる速度で最大持久走を行つた時の酸素摂取率の変動をしめしたものである。速度によつて，最大持久走時間は異なるが，各速度におけるオールアウト時の酸素摂取率は，32.9 (200m/分)，30.2 (220m/分)，31.8 (240m/分) に低下している。

以上，一流選手と一般青年についてのオールアウト時の呼吸循環機能の測定結果の具体例をのべてきたが，他の被検者についての結果を第4表にまとめた。

この表の被検者，T.K.とGOは鍛錬者であり，他は一般青年である。被検者加賀谷について同速度の最大持久走時間が3種あるのは，トレッドミルを用いてのトレーニングによつて最大持久走時間が延長したことによる。

これらの結果から，オールアウト時の心拍数は，同一被検者では，つねに，ほぼ一定の値で最高値をしめし，また各被検者間でもその値はほとんど変わらず，一般に180～200をしめすこと，オールアウト時に呼吸数が急激に増加し，換気の効率が低下することがわかった。

呼吸数は，各被検者間の値はかならずしも一定ではないが，一般44～70の範囲でオールアウト時に最高値をしめした。同一被検者では，その値は，ほぼ一定である。

走行中，酸素摂取率は次第に低下する。オールアウト時の値は，一般に30～36をしめしている。

次に1名の被検者についてトレーニング前後の比較を呼吸循環機能について行つた。

トレーニングは，1週に3日，隔日にサーキットトレーニング，インターバルトレーニ

第4表 各被検者のオールアウト時の呼吸・循環機能の状態

	S	T	H.R	R.R	$V_{E(M)}$	$V_{E(A)}$	$O_{2(M)}$	$O_{2(A)}$	O_2R
T.K.	240	21'09"	188	67	103.5	98.6	3.65	3.33	33.8
〃	260	6'58"	185	62	97.5	89.2	3.51	3.34	36.2
GO	240	7'55"	192	35	113.7	113.7	3.79	3.79	36.4
〃	260	4'51"	191	30	99.8	99.8	3.63	3.63	36.4
KAGAYA	220	4'41"	197	50	78.5	78.5	2.79	2.79	35.6
〃	220	5'10"	196	51	91.1	91.1	3.38	3.09	33.9
〃	220	5'50"	194	51	80.9	80.8	2.86	2.81	34.8
KANEKO	190	7'33"	193	57	76.7	76.7	2.77	2.54	33.1
ASMI	190	6'37"	198	46	93.7	77.8	3.93	2.69	34.6
ISHII	190	9'20"	194	44	78.2	78.2	3.49	2.79	35.6
MIYASHITA	175	6'13"	184	62	100.0	100.0	3.67	3.32	33.2

T.K., GO は鍛練者, 他は一般青年

S 速度 m/分

H.R オールアウト時心拍数 (回/分)

$V_{E(M)}$ 走行中の最大換気量 (l/分)

$O_{2(M)}$ 走行中の最大 O_2 摂取量 (l/分)

O_2R オールアウト時 O_2 摂取率

T 最大持久走時間

R.R オールアウト時呼吸数 (回/分)

$V_{E(A)}$ オールアウト時換気量 (l/分)

$O_{2(A)}$ オールアウト時 O_2 摂取量 (l/分)

ング, ウェイトトレーニングを行つた。期間は6ヶ月間である。

トレーニングの効果は次の方法で検討した。

トレーニングに入る前のトレッドミル最大持久走で, 260m/分の速度で2分24秒の持久走時間をえた。この時の呼吸循環機能と, トレーニング後, 同一負荷での呼吸循環機能の比較, 即ち呼吸量, 呼吸数, 一回換気量, 酸素摂取量, 酸素摂取率心拍数, 酸素脈においてトレーニング効果をみた。

呼吸数は, トレーニング前, オールアウト時に急激に増加61をしめしたのが, トレーニング後は47に減少している。

一回換気量は, トレーニング前, オールアウト時に, 低下しているのにたいし, トレーニング後は, ほとんど低下をしめしていない。

酸素摂取率には, トレーニング効果が顕著にあらわれ, トレーニング前, 1分目, 2分

第14図 換気量, 酸素摂取量, 酸素摂取率のトレーニングによる変化。

上から酸素摂取率(点線), 毎分換気量(実線), 酸素摂取量(点波線)の変動をしめす

目, 3分目, 各々33.8, 31.2, 30.3であつたが, トレーニング後は, 各々44.6, 40.8, 40.3と高くなつている(第14図)。

心拍数は, トレーニング後, 走行中減少しているが, 回復期において変化はみられない。しかし, 一般には, トレーニング後, 心拍数は回復期において減少するので, 他のなんらかの原因があつたと思われる。

酸素脈は、トレーニング前1分目 11.9, 2分目 14.9, 3分目 10.6 であつたがトレーニング後は、各々 12.7, 18.5, 17.7 と高い値をしめた。

考 察

従来、持久性を規定する因子に関する研究としては、次のような報告がみられる。

米国の Cureton, T.K. (1956)⁴⁾ は、トレッドミル法を用い、8.6% 傾斜、7 マイル/時～10 マイル/時という速度でオールアウト走を行ない、その時の持久走時間と、その間に使用した全酸素量を測定した。スウェーデン国立体育研究所 (H. Christensen, P.O. Åstrand)¹⁾ およびデンマーク、コペンハーゲン大学体育生理学研究所 (E. Asmussen) では、トレッドミル走における心拍数、呼吸数、酸素摂取量、およびヘモグロビン総量と持久性との関係をしらべている。ドイツのフライブルグ大学スポーツ医学研究所 (H. Reindell)⁸⁾ では、心臓 X 線像から心臓容積を測定し、これと最大酸素脈の両者と持久性との関係をしらべている。これらの成績から、全身持久性を代表しうるものは、①トレッドミル持久走時間、②一定時間内の総酸素摂取量、③最大酸素摂取量、④ヘモグロビン総量、⑤心臓容積、酸素脈などであることになる。

本研究では、これらのうち、トレッドミル持久走時間、酸素摂取量、換気量、酸素摂取率 (酸素摂取量 / 換気量)、心拍数、呼吸数を持久走時間を限定する因子としてとりあげた。

すなわち一定速度での持久走が不可能になる時点での心拍数、呼吸数、換気量、酸素摂取量、換気の効率 (換気量 / 呼吸数)、酸素摂取率 (酸素摂取量 / 換気量)、酸素脈にいかなる特徴があるかを観察した。

なお、ここでとりあげる持久走の速度は、一般に 5～6 分でオールアウトにいたる程度のものを用いている。それは、呼吸・循環機能

が運動に参加するためには、この程度の時間が必要であることによる³⁾。

その結果、心拍数が、一般人では、鍛錬者、非鍛錬者の別なく、ともに 180～200 をしめしてオールアウトにいたっている。このことは、心臓の機能が一定の活動の水準をめししたときにオールアウトになることを意味している。P.O. Åstrand²⁾ も、これに関して、自転車エルゴメーターによる実験で、同一被検者が異なる負荷で作業を行なうとき、その限界時ではほぼ一定の心拍数をしめすことから、心臓が、持久性の限界因子ではないかと報告している。

呼吸数も、心拍数と同様、オールアウト時に最高値をしめすが、特にオールアウト直前で急激な増加をしめしている。しかし、呼吸数の最高値は、心拍数のそれと異り、各被検者のあいだでは、必ずしも一定とは限らない。しかし、同一被検者は、つねに一定の値をしめしてオールアウトになるから呼吸数が急激に増加するということは不利な状態にたちいたつたことを意味している。換気量が、一般に走行途次で最高値に達し、その後は、ほぼその数値を維持したまま、あるいは低下をしているので、呼吸数の急激な増加ということは一回換気量の低下をしめし、換気の効率がいちぢるしく低下していることになる。また酸素摂取量が、オールアウト時に減少しているのにたいして、心拍数が増加しているために、酸素脈の低下を来している。したがって心拍出量の低下が持久性の限界因子の 1 つとなつていと考えられる。

酸素摂取量と毎分換気量との比を酸素摂取率と呼ぶことにした⁶⁾。これは、従来用いられている呼吸当量を逆数的に表示したものであり、毎分の換気量の 1ℓ あたりどれだけの酸素摂取が可能であるかを示すものであり、呼吸機能の効率をしめすものである。酸素摂取率は、走行開始と同時に 40 以上をしめし

ているが、オールアウトに近づくにつれ、次第に低下してくる。多くの場合、酸素摂取率は30~36でオールアウトになるようである。したがって、酸素摂取率の低下、換言すれば呼吸の効率の低下が、持久性の限界因子となると考えられる。このことはHollmann, W⁵⁾がエルゴメーターを用い、酸素摂取量が同一であるにもかかわらず呼吸量が増大してくる時期を持続的に破綻をきたす時点であるという報告に一致する。しかし、これが、肺血管における酸素摂取の低下によるものか、あるいは、肺の中におけるガス交換がわるくなるためによるものかは問題である。そこで、前述の呼吸数との関係で考察していくと呼吸数は、急激に増加してオールアウト時に最高に達する。これは、肺の血流量が減少するために呼吸が促進するのではないかということが考えられる。しかし、この点については、さらに心拍出量を種々の方法で測定してたしかめなければ結論を出せない。ここでは、心臓が原因であるか、肺におけるガス交換の機能低下が原因であるかは不明であるが、酸素摂取の効率の低下が、持久走時間の限界因子になっているということになる。

このように、心拍数、呼吸数、換気量、酸素摂取量の変動をとらえることによつて、一回換気量の低下、酸素摂取率の低下、酸素脈の低下、すなわち、換気の効率、呼吸の効率、および心拍出量の低下が、持久走時間の限界を招来していることがわかったが、これらの項目について、1被検者のトレーニング前後の比較をおこなつてみた。その結果は、さきにしめしたように、トレーニング前後の同一負荷にたいする反応を比較すると各項目について、余裕力の増加をしめした。これは、トレーニング効果のあらわれをしめすものであるが、同時にこれらのものが、持久性を規定するところの因子であることを他の面からしめしているものと考えられる。

しかし、上述のように、酸素摂取率の低下が肺胞におけるガス交換の機能の低下によるものか、心拍出量の低下によるものかは、おそらく両方の原因が関係していると思われるが、今後の検討を要する問題として残されている。

要 約

1. 8.6% 傾斜のトレッドミルを用いて、最大持久走時間を測定し、その時の呼吸循環機能を測定した。
2. オールアウト時に心拍数は最高値に達し、その値は一般に180~200をしめした。
3. 呼吸数はオールアウト時に急激に増加するが、その値は個人により異なる。同一被検者では、負荷が変つても同様の値をしめした。
4. オールアウト時に、一回換気量、酸素摂取率、酸素脈が低下する。したがって、換気の効率、呼吸の効率、心拍出量が、持久走時間を規定すると考えられる。
5. しかし、これらの諸結果が、心臓機能の低下によるものか、肺臓機能によるものかは、今後の研究をまつて判定しなければならない。

引用文献

- 1) Astrand, P. O. (1952): Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Ejnar Munksgaard, Copenhagen.
- 2) Ostrand P.O. (1961): Oxygen uptake during the first minute of heavy muscular exercise. Journal of Appl. Physiol. Vol. 16, No. 6: 971~76.
- 3) Ostrand. P.O. (1961): Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. Journal of Appl. Physiol. Vol. 16 No. 6: 977—981
- 4) Cureton, T. K. (1956): Physical fitness of champion athletes. The Univ. Illinois Press.

- 5) **Hollmann, W.** (1959): Der Arbeits- und Trainingseinfluss auf Kreislauf und Atmung. Dietrich Steinkopff. 37~38.
 - 6) **猪飼道夫, 吉沢茂弘, 中川功哉** (1962): トレッドミル法による全身持久性の評価について, 体力科学, 10 巻, 4 号, p.227~238.
 - 7) **猪飼道夫, 江橋慎四郎, 加賀谷照彦** (1964): トレッドミル法による青少年の運動処方に関する研究第一報, 体育学研究, 7 巻 3 号.
 - 8) **Reindell, H.** (1960): Herz Kreislauf-Krankheiten und Sport. Johann Ambrosius Barth, München.
-

2) Caloric expenditure per day were about 1400~1800 Cal. for boys, 1200~1600Cal. for girls in primary school, 2500Cal. for senior high school boys and 2000Cal. for girls in senior high school respectively.

In senior high school, boys consumed 200Cal. more than girls in the same grade. Because of their sedentary work for the entrance examination the 3rd grade boys in senior high school spent less than 2300 Cal. per day.

3) The calrie expenditure of primary school children and senior high school students, were found to be in the normal range.

The sume of calorie expenditure found in this study, estimated calorie loss in digestion and absorption, and estimate calories required for growing was nearly equal to or rather less than the caloric allowance for the average Japanese Youth.

Optimal Exercise Standards for Physical Fitness of Youth.

No. 2 The limiting factors of endurance

By

M. Ikai, S. Ebashi, H. Kagaya et al., Unirersity of Tokyo

The purpose of this study was to find out the limiting factors of endurance owing to the aerobic capacity.

The heart rate, respiration rate, pulmonary ventilation and oxygen intake were measured during and after the all-out running on the treadmill with 8.6% slope. And the oxygen removal and oxygen pulse were calculated. The tidal volume of ventilation, oxygen removal and oxygen pulse were found to be decreased significantly at the point of all-out. It was supposed from these results that the decrease in efficiency of respiratory function might be one of the limiting factors to the endurance. However, it must be revealed whether this decrease of efficiency in the respiratory function might be caused the dropped cardiac output or the disturbed diffusion of the oxygen in thn lung.