幼児の有酸素的作業能に関する研究 (III)

吉 沢 茂 弘* 本 多 宏 子**

漆 原 誠*** 中 村 伸****

THE STUDIES ON AEROBIC WORK CAPACITIES OF PREPARATORY SCHOOL CHILDREN (III)

SHIGEHIRO YOSHIZAWA, HIROKO HONDA, MAKOTO URUSHIBARA
AND NAKA NAKAMURA

In order to find out the criteria for the determination of maximal oxygen uptakes of very young children, five boys and five girls, aged four or five years, served as the subjects. They ran on the horizontal treadmill once a day for the constant three minutes on different days. The velocity was increased from the first 100m/min by 20m/min till the last where they could endure no longer for the three minutes. As the consequence, the velocities attained were 100m/min, 120m/min, 140m/min, 160m/min, 180m/min and 200m/min for boys and 100m/min, 120m/min, 140m/min, 160m/min and 180m/min for girls.

The expired airs were collected at rest and whole through the treadmill running.

Heart rates were also continuously registered not only at rest but also during the treadmill running.

The following results were obtained :

1) At the velocities of 100m/min, 120m/min and 140m/min apparent steady states of heart rates and $\dot{V}O_2$ were established within the three minutes both for boys and girls.

But boys showed lower heart rates and higher $\dot{V}O_2$ during the steady states at a given velocity than girls did.

2) At the last velocity of 200m/min $\dot{V}O_{2max}$ were attained 30 seconds after the start of running for boys and also at the last of 180m/min girls reached $\dot{V}O_{2max}$ 60 seconds after the beginning.

It was, therefore, confirmed that if the work intensity was sufficiently high, $\dot{V}O_{2max}$ could be reached at the latest between 30 and 60 seconds after the start of work for young children.

3) At the one step lower velocity than the last, namely, 180m/min for boys and 160m/min for girls, the plateaus of $\dot{V}O_{2max}$ were found for the last minute.

4) The heart rates simultaneously observed with $\dot{V}O_{2max}$ ranged from 202.4 to 206.4 bpm and also RQ were all above the unit. Accordingly these values could be regarded as the most important criteria for the evaluation of aerobic work capacity of young children.

5) When the velocity was high, the respiratory frequency sharply rises immediately after the start of running. For the first thirty seconds the breath rates reached 60 to 90/min.

6) If the duration of the running on the horizontal treadmill are constantly fixed three minutes, the upper limit of the velocity where the safe aerobic steady state can be established is 140m/min both for boys and girls.

(J. Physical Fitness Japan 1981, 30 : 73~85)

* 宇都宮大学教育学部 Faculty of Education, University of Utsunomiya. Utsunomiya-shi, Tochigi-ken 320

** 国学院大学栃木短期大学 Kokugakuin University, Tochigi Junior College. Tochigi-shi, Tochigi-ken 328

*** 栃木県トレーニングセンター Training Center, Tochigi Prefecture. Utsunomiya-shi, Tochigi-ken 320

**** 筑波大学 Tsukuba University. Ibaragi-ken 305

I. はじめに

これまで著者らは3～6才の幼児を対象としてグラウンド走により最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) を測定してきたが、その被検者の数はすでに233名に及んだ。そしてその判定基準として負荷時の走行持続時間、心拍数及び呼吸商を用いてきた。一方 Taylor ら⁹⁾ は $\dot{V}O_{2max}$ を測定することができたかどうかを決定する客観的な非観血的判定基準を見出すために次のような実験を試みている。すなわちトレッドミル走行速度を7 mph (187.8 m/min), 走行持続時間を3分に固定し、日を異にして行なわれるごとに傾斜を2.5% ずつ高め、その都度得られた酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) の最高値が、連続した前後の2回の測定の間にもはや150 ml 以上の差を示さなくなった時に、はじめて $\dot{V}O_{2max}$ が得られたとしている。これは作業強度- $\dot{V}O_2$ 曲線における Level-off または Flatten-off の概念を導入したものであり、今日なおもっとも信頼しうる判定基準のひとつになっている。

そこで本研究ではこうした Level-off の概念のもとづき、走行速度の増加による漸増法を採用し、幼児を対象にして得られた生理的 Parameter から、これまで著者ら⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾ が用いてきた判定基準の妥当性をなお一層明確に裏づけようとしたものである。また同時に種々の走行速度における幼児の呼吸循環機能の反応の様相についても検討し、幼児の持久走実施上の手掛りをも得ようとしたものである。

II. 測定方法

A. 被検者

栃木県国分寺町愛泉第三幼稚園の4才または5才の男子、女子それぞれ5名計10名を被検者とした。これらの被検者は年中組に属し週2回およそ400メートルの持久走を始めてから3ヶ月経過しており、したがって走ることはかなり慣れているものとみなすことができる。Table 1 は被検者の身体的特性を示したものであるが、体重当り $\dot{V}O_{2max}$ の値は本研究で測定されたものを併記したものである。

B. 測定期日及び場所

昭和54年7～8月に宇都宮大学体育学実験室で

行なわれた。なお測定時の室温は20～28℃であった。

C. 測定手順

1. 運動負荷開始前

被検者はフラットのトレッドミル上におかれた椅子に15分間坐位で休息してから ECG 電極、呼吸サーミスター及び呼吸採気用マスクを着装した。その後5分間の採気を行ない、その間同時に心拍数と呼吸数も連続的に記録された。そして運動負荷開始前の安静時としての心拍数、呼吸数及び $\dot{V}O_2$ は5分間に得られたものを1分間に換算して求められたものである。

2. 運動負荷時

ついで運動負荷としてトレッドミル走行を実施するわけであるが、まずその傾斜を0°とし、またこれまでの著者らの研究⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾において、幼児の $\dot{V}O_{2max}$ が2～3分という短時間で得られたこと、及びすでに述べた Taylor ら⁹⁾ の3分という持続時間に着目し、走行時間をあらかじめ3分間に固定した。走行速度は初回の測定日には100 m/min として次回には120 m/min、さらに回を追うごとに20 m/min ずつ増速し、もはや3分間は持続できないという速度まで段階的に高めていった。その結果男子では100～200 m/min の6段階、女子では男子より一段階少なく100～180 m/min の5段階の測定を実施することができた。

こうした測定の過程でとくに注意しなければならないことは、どのようにして幼児を走らせたかということである。そこでまず安全という立場から柔道帯を利用して作った安全バンドに天井からつるしたロープを結びつけ疲労により規定の走行速度についていけなくなったり、転倒しそうになった場合に、確実に対処できるようにした。

走行開始にあたっては、検者がトレッドミルのベルトをまたいで被検者を両腕で支持しその後トレッドミルを始動し、規定された速度の20～40 m/min 手前の時点でベルト上におろして走らせた。その際に検者は手を徐徐にはなすようにし、ひきつづき速度を規定のところまであげていった。被検者がトレッドミル上で走り始めてから遅くとも10秒のうちに規定の速度に達するように調節することができたが、それと同時に呼吸採気を開始し、男子の場合は200 m/min における30秒

Table 1. Physical characteristics of subjects.

Sex	Subjects	Age (years : months)	Body height (cm)	Body weight (kg)	$\dot{V}O_2\text{max}$ (ml/kg/min)
Male	MS	5 : 00	106.5	18.10	51.9
	TO	4 : 10	99.9	14.20	55.2
	MT	5 : 04	110.0	18.10	49.8
	KT	4 : 06	108.6	20.30	50.1
	TH	4 : 11	104.6	17.70	47.2
	Mean (Sd)	4 : 11 (0 : 04)	105.9 (3.9)	17.68 (2.20)	50.8 (2.9)
Female	HF	5 : 02	114.9	19.50	45.1
	ST	5 : 01	112.7	21.30	42.5
	RU	5 : 02	101.9	15.40	49.7
	MM	5 : 02	103.9	16.60	46.9
	AO	5 : 00	106.9	18.40	42.7
	Mean (Sd)	5 : 01 (0 : 01)	108.1 (5.6)	18.24 (2.33)	45.4 (3.0)

をのぞき 1 分毎に、女子の場合はすべての速度で 30 秒毎にコックを切り換え、連続的に採気した。走行終了後はただちに装備をはずし、ジョグと深呼吸によるクーリングダウンを行なわせた。

なお採気装置と呼気分析器（ショランダー微量ガス分析器）は、これまでグラウンド走による幼児の $\dot{V}O_2\text{max}$ 測定にあたって使用してきたものと同一である。心拍数と呼吸数は三栄測器製作の Biophysigraph 180 System 及び Rectigraph 8S を用い、走行開始数秒前から走行終了時まで連続的に記録された。

III. 結果及び考察

Table 1 は被検者の体格と体重当り $\dot{V}O_2\text{max}$ を示したものである。身長、体重においては女子が男子をわずかに上回っているが、有意差は認められなかった。しかし体重当り $\dot{V}O_2\text{max}$ の平均値では男子が 50.8ml/kg/min となっており、女子の 45.4ml/kg/min を有意差 ($P < 0.05$) をもって凌駕していた。また著者らのグラウンド走による 3 ~ 6 才の男子平均値 48.4ml/kg/min ($n=117$)、女子平均値 44.4ml/kg/min ($n=116$) と比較すると男子では有意に ($P < 0.05$) 上回っていたが、女子では有意差はみられなかった。したがって本研究の被検者是有酸素的作業能に限ってみれば男子は普通の水準よりもややすぐれており、女子は

ほぼ普通の水準に属するものとみなしてよいであろう。

Table 2 及び Table 3 は運動開始前の安静時心拍数と、走行運動時における 30 秒区切りの心拍数の連続的変化を個人についてばかりでなく平均値及び標準偏差をもって男子、女子について示したものである。そのうち運動時の心拍数は 30 秒間の心拍数を 1 分間に換算して求められたものである。さらに平均値により運動時の連続的変化を男子、女子について図示したものが Fig. 1 及び Fig. 2 である。

そこでまず男子について平均値をもってながめてみると、100m/min の速度においては走行開始後 1 分を過ぎると以後 30 秒毎に、174.4 bpm, 175.6 bpm, 174.8 bpm, 174.0 bpm というように相互の差の範囲が 2 bpm 以内におさまってプラトーが成立している。そして 120m/min ではそれより 30 秒遅れて 1 分 30 秒以降 180.8 bpm, 181.6 bpm, 182.4 bpm, 140m/min ではさらに 30 秒遅れて 2 分以降 188.0 bpm, 190.0 bpm というように走行速度が大きくなるにしたがってプラトーの発現時間がますますおくれ、しかもプラトー時の心拍数もより高くなっている。160m/min ではプラトーがみられないままに増加し続け、最後の 30 秒間では 203.6 bpm に達している。ところが 180 m/min では KT が最後まで走り通すことができ

Table 2. Heart rates (beats/min) at various velocities on the treadmill (Male).

Velocity (m/min)	Subj.	at rest	0"	30"-1'00"	-1'30"	-2'00"	-2'30"	-3'00"
100	MS	103	160	168	164	164	162	162
	TO	95	138	158	166	166	166	164
	MT	108	160	170	182	184	180	176
	KT	119	146	164	176	180	180	182
	TH	95	144	174	184	184	186	186
	Means (Sd)	104.0 (10.0)	149.6 (9.9)	166.8 (6.1)	174.4 (9.1)	175.6 (9.8)	174.8 (10.3)	174.0 (10.4)
120	MS	109	160	166	174	180	180	186
	TO	96	148	164	172	174	172	174
	MT	122	160	176	180	188	188	184
	KT	107	142	164	176	182	180	184
	TH	91	152	174	174	180	188	184
	Means (Sd)	105.0 (12.1)	152.4 (7.8)	168.8 (5.8)	175.2 (3.0)	180.8 (5.0)	181.6 (6.7)	182.4 (4.8)
140	MS	103	170	178	182	190	192	188
	TO	95	154	178	176	182	184	182
	MT	112	148	170	180	180	186	182
	KT	119	148	180	186	190	186	202
	TH	89	160	180	188	196	192	196
	Means (Sd)	103.6 (12.1)	156.0 (9.3)	177.2 (4.1)	182.4 (6.5)	187.6 (6.5)	188.0 (3.7)	190.0 (8.8)
160	MS	98	164	180	190	194	196	204
	TO	95	162	184	186	186	186	194
	MT	107	160	176	188	192	200	200
	KT	108	156	188	198	202	204	208
	TH	101	154	190	200	204	208	212
	Means (Sd)	101.8 (5.6)	159.2 (4.1)	183.6 (5.7)	192.4 (6.2)	195.6 (7.4)	198.8 (8.4)	203.6 (7.0)
180	MS	104	174	190	196	202	204	204
	TO	90	162	184	190	198	192	196
	MT	99	164	186	192	200	200	208
	KT	111	164	194	202	204	210	—
	TH	96	170	188	200	204	206	200
	Means (Sd)	100.0 (8.0)	166.8 (5.0)	188.4 (3.8)	196.0 (5.1)	201.6 (2.6)	202.4 (6.8)	202.0 (5.2)
200	MS	105	174	196	—	—	—	—
	TO	95	174	198	—	—	—	—
	MT	100	164	192	—	—	—	—
	KT	119	194	216	—	—	—	—
	TH	89	188	210	—	—	—	—
	Means (Sd)	101.6 (11.4)	178.8 (12.0)	202.4 (10.1)	—	—	—	—

Table 3. Heart rates (beats/min) at various velocities on the treadmill (Female)

Velocity (m/min)	Subj.	at rest	0''-	30''-1'00''	-1'30''	-2'00''	-2'30''	-3'00''
100	H F	107	148	162	168	176	178	172
	S T	102	160	174	174	178	176	180
	R U	99	134	158	164	166	164	166
	MM	107	158	174	184	186	188	188
	A O	117	158	162	172	172	172	176
	Means (Sd)	106.4 (6.8)	151.6 (10.9)	166.0 (7.5)	172.4 (7.5)	175.6 (7.4)	175.6 (8.8)	176.4 (8.3)
120	H F	108	150	168	178	182	182	180
	S T	100	158	170	178	180	178	178
	R U	105	148	164	174	178	182	180
	MM	115	164	186	198	206	206	206
	A O	126	174	176	184	196	204	204
	Means (Sd)	110.8 (10.1)	158.8 (10.6)	172.8 (8.6)	182.4 (9.4)	188.4 (12.1)	190.4 (13.4)	189.6 (14.1)
140	H F	100	166	176	184	192	192	196
	S T	94	172	182	184	186	190	194
	R U	107	152	172	182	188	188	188
	MM	101	170	192	200	204	210	210
	A O	111	172	186	190	192	196	196
	Means (Sd)	102.6 (6.6)	166.4 (8.4)	181.6 (7.9)	188.0 (7.3)	192.4 (7.0)	195.2 (8.8)	196.8 (8.1)
160	H F	102	172	178	192	196	200	204
	S T	102	168	184	190	200	200	—
	R U	111	164	180	194	196	196	200
	MM	104	186	212	216	216	216	220
	A O	121	180	196	204	208	208	208
	Means (Sd)	108 (8.2)	174.0 (8.9)	190.0 (14.1)	199.2 (10.8)	203.2 (8.7)	204.0 (8.9)	208.0 (8.6)
180	H F	107	180	194	198	—	—	—
	S T	102	166	192	202	—	—	—
	R U	99	154	186	196	—	—	—
	MM	107	194	210	216	—	—	—
	A O	117	184	200	208	—	—	—
	Means (Sd)	106.4 (6.8)	174.8 (15.3)	196.4 (9.1)	203.6 (8.6)	—	—	—

なかったほど負荷強度が大きいわけであるが、それにもかかわらず 201.6 bpm, 202.4 bpm, 202.0 bpm というように再びプラトーがみられるようになっている。もっとも高い最終段階の 200m/min では 1 分30秒まで走れた者がなく、走行持続時間 1 分の後半30秒間における心拍数 202.4 bpm は 180m/min のプラトーにおける心拍数と一致

している。

こうしたなかで 100m/min, 120m/min, 140m/min におけるプラトーは呼吸循環機能がそれぞれの走行速度による運動強度に対して適応した状態すなわち定常状態の成立を意味するものである。そして運動強度が大きくなるとそれだけ成立がおくれてくるが、それは適応に時間を要するた

Fig. 1. Heart rates of young male children at various velocities during the horizontal treadmill running.

Fig. 2. Heart rates of young female children at various velocities during the horizontal treadmill running.

めである。したがって 160m/min の場合 3 分間では適応せずに終わってしまったものとみなすことができる。ところが 180m/min で再びプラトーがみられるわけであるが、これは運動強度がきわめて大きくなり、被検者がどうにか 3 分間持続し得たことを考慮すれば、呼吸循環機能の上限における心拍数の持続というように解釈することができる。そしてそれは 140m/min 以下の走行速度にみられた定常状態としてのプラトーとはかなり異質なものである。200m/min では走行開始後 30 秒を過ぎるともはや 202.4 bpm というように前段階の 180m/min における上限としての心拍数

とほぼ一致するまでに高くなっている。したがってこのことは運動強度が十分に大きくなれば運動開始後 30 秒で心拍数はほぼ上限に達するということを示すものである。

他方女子では 100m/min, 120m/min, 140m/min において男子と同様にそれぞれ 1 分, 1 分 30 秒, 2 分以降に定常状態がみられた。しかし 120m/min, 140m/min ではその心拍数のレベルが男子よりもかなり高くなっており、男子の 180~182 bpm に対して 188~190 bpm, 188~190 bpm に対して 195~197 bpm にも達していた。160m/min においては最後の 30 秒間は被検者 ST が脱落して 4 名になったがその平均値 208.0 bpm まで徐々に増加している。そして次の最終段階の 180m/min では 1 分 30 秒までしか持続できないということを考慮すれば、160m/min における持続時間 3 分はほぼ限界とみなしてもよいであろう。180m/min では最後の 1 分~1 分 30 秒において 203.6 bpm まで上昇したが前段階の 160m/min で 5 名全員が走り切った 2 分~2 分 30 秒の 204.0 bpm にほぼ一致しており、そしてこのあたりの心拍数が平均値からみた女子の上限とみなすことができるであろう。ちなみに Åstrand¹⁾ による 4~5 才の $\dot{V}O_2\max$ 測定時の心拍数と比較してみると、男子では 7 名の平均値が 202.3 bpm, 女子では 5 名の平均値が 202.8 bpm となっているので、本研究の男子の平均値 202.4 bpm, 女子の平均値 204.0 bpm とほぼ一致していることがわかる。

Table 4, Table 5, Fig.3, Fig.4 は $\dot{V}O_2$ についてその変化過程を示したものである。そこで平均値によりまず男子についてみると、100m/min では 1 分以降 1 分毎に 0.726 l/min, 0.734 l/min そして 140m/min では 1 分以降 1 分毎に 0.768 l/min, 0.772 l/min というようにこれら 3 種の走行速度では 1 分以降定常状態としてのプラトーの成立がみとめられた。160m/min では定常状態はみられず徐々に増加して、0.862 l/min に達した。ところが 180m/min では 1 分以降 1 分毎に 0.865 l/min, 0.863 l/min というように再びプラトーがみられたが、これは酸素摂取能力の上限すなわち $\dot{V}O_2\max$ を意味するものと考えられる。最終段階の 200m/min では後半の 30 秒で 0.881 l/min となり前段階の値をわずかながら上回っている。この

Table 4. Oxygen uptakes (l/min) at various velocities on the treadmill (Male)

Velocity (m/min)	Subj.	at rest	0"-30"-1'00"	-1'30"-2'00"	-2'30"-3'00"
100	MS	0.151	0.528	0.648	0.617
	TO	0.124	0.485	0.623	0.547
	MT	0.171	0.592	0.757	0.715
	K T	0.157	0.446	0.552	0.592
	TH	0.140	0.450	0.534	0.567
	Means (Sd)	0.148 (0.018)	0.500 (0.061)	0.628 (0.089)	0.608 (0.065)
120	MS	0.115	0.605	0.692	0.739
	TO	0.135	0.532	0.624	0.620
	MT	0.183	0.657	0.804	0.802
	K T	0.155	0.577	0.795	0.804
	TH	0.119	0.561	0.717	0.705
	Means (Sd)	0.151 (0.025)	0.585 (0.050)	0.726 (0.075)	0.734 (0.077)
140	MS	0.152	0.615	0.772	0.828
	TO	0.144	0.591	0.771	0.676
	MT	0.177	0.658	0.821	0.816
	K T	0.158	0.601	0.793	0.828
	TH	0.136	0.546	0.744	0.710
	Means (Sd)	0.147 (0.024)	0.602 (0.041)	0.768 (0.043)	0.772 (0.073)
160	MS	0.148	0.696	0.813	0.898
	TO	0.129	0.642	0.743	0.730
	MT	0.181	0.621	0.865	0.916
	K T	0.169	0.693	0.891	0.946
	TH	0.162	0.644	0.936	0.820
	Means (Sd)	0.158 (0.020)	0.659 (0.034)	0.830 (0.057)	0.862 (0.087)
180	MS	0.106	0.659	0.884	0.928
	TO	0.125	0.647	0.708	0.784
	MT	0.142	0.730	0.928	0.910
	K T	0.193	0.725	1.013	1.017
	TH	0.144	0.646	0.794	0.829
	Means (Sd)	0.143 (0.032)	0.681 (0.042)	0.865 (0.012)	0.863 (0.068)
200	MS	0.121	0.422 0.941	— —	— —
	TO	0.114	0.608 0.745	— —	— —
	MT	0.168	0.605 0.901	— —	— —
	K T	0.158	0.678 0.982	— —	— —
	TH	0.136	0.625 0.837	— —	— —
	Means (Sd)	0.139 (0.023)	0.588 (0.097) 0.881 (0.093)	— —	— —

Table 5. Oxygen uptakes (l/min) at various velocities on the treadmill (Female)

Velocity (m/min)	Subj.	at rest	0"-	30"-1'00"	-1'30"	-2'00"	-2'30"	-3'00"
100	H F	0.128	0.383	0.594	0.639	0.645	0.697	0.678
	S T	0.137	0.385	0.591	0.649	0.620	0.714	0.715
	R U	0.141	0.294	0.509	0.580	0.545	0.565	0.572
	MM	0.139	0.346	0.554	0.667	0.655	0.595	0.592
	A O	0.153	0.408	0.559	0.584	0.555	0.582	0.588
	Means (Sd)	0.140 (0.090)	0.363 (0.045)	0.561 (0.034)	0.624 (0.039)	0.604 (0.051)	0.631 (0.069)	0.631 (0.065)
120	H F	0.181	0.387	0.628	0.661	0.717	0.743	0.754
	S T	0.141	0.434	0.633	0.743	0.732	0.716	0.772
	R U	0.150	0.379	0.535	0.633	0.622	0.594	0.612
	MM	0.152	0.407	0.577	0.593	0.589	0.647	0.655
	A O	0.158	0.401	0.594	0.643	0.678	0.651	0.668
	Means (Sd)	0.156 (0.015)	0.402 (0.021)	0.593 (0.040)	0.655 (0.055)	0.668 (0.061)	0.670 (0.059)	0.692 (0.068)
140	H F	0.104	0.472	0.693	0.736	0.786	0.774	0.833
	S T	0.117	0.450	0.768	0.787	0.794	0.813	0.835
	R U	0.114	0.382	0.557	0.644	0.655	0.625	0.654
	MM	0.118	0.398	0.559	0.540	0.699	0.655	0.738
	A O	0.123	0.391	0.614	0.632	0.633	0.644	0.707
	Means (Sd)	0.115 (0.007)	0.419 (0.040)	0.638 (0.091)	0.668 (0.065)	0.713 (0.074)	0.704 (0.084)	0.753 (0.079)
160	H F	0.155	0.452	0.733	0.825	0.855	0.868	0.880
	S T	0.154	0.443	0.767	0.832	0.891	0.873	—
	R U	0.161	0.410	0.640	0.768	0.725	0.761	0.765
	MM	0.139	0.456	0.711	0.723	0.744	0.743	0.746
	A O	0.138	0.489	0.755	0.752	0.705	0.759	0.785
	Means (Sd)	0.149 (0.010)	0.450 (0.028)	0.721 (0.050)	0.780 (0.047)	0.784 (0.083)	0.801 (0.064)	0.794 (0.060)
180	H F	0.128	0.518	0.792	0.820	—	—	—
	S T	0.137	0.578	0.811	0.906	—	—	—
	R U	0.141	0.426	0.693	0.761	—	—	—
	MM	0.139	0.525	0.778	0.758	—	—	—
	A O	0.153	0.539	0.760	0.772	—	—	—
	Means (Sd)	0.140 (0.090)	0.517 (0.056)	0.767 (0.045)	0.803 (0.063)	—	—	—

ことは心拍数の場合と同じように運動強度が十分大きければ運動開始後 30 秒で $\dot{V}O_2$ の最高のレベルすなわち $\dot{V}O_{2max}$ に達するというを示すものである。

一方女子では 100m/min において 1 分以降 30 秒毎に 0.624 l/min, 0.604 l/min, 0.631 l/min, 0.631 l/min, 120 m/min において 1 分 30 秒以降

30 秒毎に 0.668 l/min, 0.670 l/min, 0.692 l/min というように, これら 2 種の走行速度では定常状態としてのプラトーがみうけられた。しかし 140 m/min になると 1 分 30 秒～2 分 30 秒で 0.713 l/min, 0.704 l/min というように, 1 分間のプラトーがみられたものの最後の 30 秒ではかなり高くなって 0.753 l/min に達した。ところが 160m/min

Fig. 3. Oxygen uptakes of young male children at various velocities during the horizontal treadmill running.

Fig. 4. Oxygen uptakes of young female children at various velocities during the horizontal treadmill running.

では2分以降 0.801 l/min, 0.794 l/min というように再びプラトーがみうけられるようになったが、これはこの速度でどうにか走り通したということから $\dot{V}O_2$ の上限としての $\dot{V}O_{2max}$ が発現されたものとみなすことができる。最終段階の 180 m/min では最後の1分～1分30秒において 0.803 l/min に達し、これは前段階の 160m/min において得られた値に匹敵するものである。したがって運動強度が十分であれば運動開始後1分で $\dot{V}O_{2max}$ のレベルに達するということがわかった。

もし 190m/min の強度を負荷すれば男子と同様に運動開始後30秒で発現することも予想される。

こうしてみると幼児では運動強度が十分であれば運動開始後 30～60 秒で $\dot{V}O_{2max}$ が得られるということがわかった。そして Robinson⁵⁾ は児童を対象とした場合には90秒としているが、本研究ではそれよりもかなり短い時間になっているわけで、その原因としてはやはり、Åstrand¹⁾ のいう幼児における $\dot{V}O_2$ の加速度の大きさが考えられる。

Table 6. Comparisons of heart rates (beats/min) and $\dot{V}O_2$ (l/min) between the last stage and the stage just before the last.

Sex	Subj.	Heart rate (beats/min)		$\dot{V}O_2$ (l/min)	
		The minute or half minutes just before the last	The last minute or half minute	The minute of half minute just before the last	The last minute or half minute
Male	M S	204	196	0.928	0.941
	T O	196	198	0.784	0.745
	M T	208	192	0.928	0.901
	K T	210	216	1.017	0.982
	T H	206	210	0.829	0.837
	Means (Sd)	204.8 (5.4)	202.4 (10.1)	0.897 (0.092)	0.881 (0.093)
Female	H F	204	198	0.880	0.820
	S T	200	202	0.891	0.906
	R U	200	196	0.768	0.761
	M M	220	216	0.746	0.778
	A O	208	208	0.785	0.772
	Means (Sd)	206.4 (8.3)	204.0 (8.1)	0.814 (0.067)	0.807 (0.059)

つぎにこうした運動開始後 $\dot{V}O_2\text{max}$ に達するとみなされる30~60秒という時間をさらに厳密にうらづけるために, 3分間どうにか持続できた最終段階前段の負荷と, 1分~1分30秒持続の最終段階の負荷においてそれぞれ達成された $\dot{V}O_2$ の最高値とそれに同期した心拍数を Table 2~5 からひろいあげて Table 6 のように比較対照し検討を試みた。そこで男子についてみるとすでに指摘したように $\dot{V}O_2\text{max}$ に達したとみなされる 前段の平均値は 0.897 l/min それに対して最終段階の平

均値は 0.881 l/min となり, その差は 0.016 l/min で体重当りに換算すると 1 m l/kg/min 以下であった。女子についてはそれぞれ 0.814 l/min, 0.807 l/min となっており, その差は男子よりもさらに小さい。このことは兩段階の負荷で得られた $\dot{V}O_2$ の最高値すなわち $\dot{V}O_2\text{max}$ には差異がないということの意味している。そしてこうした $\dot{V}O_2\text{max}$ に同期した心拍数の平均値 202.4~206.4 bpm は, $\dot{V}O_2\text{max}$ のきわめて有効な判定基準として用いることができるであろう。

Table 7. Respiratory quotients, oxygen removals and breath rates at various velocities on the treadmill (Male).

	Velocity (m/min)	at rest	0"—30"—1'00"	-1'30"—2'00"	-2'30"—3'00"			
R Q	100	0.876 (0.095)	0.865 (0.111)	0.912 (0.054)	0.893 (0.068)			
	120	0.869 (0.093)	0.788 (0.110)	0.904 (0.066)	0.910 (0.045)			
	140	0.965 (0.133)	0.840 (0.061)	0.963 (0.030)	0.989 (0.046)			
	160	0.908 (0.093)	0.845 (0.089)	0.999 (0.076)	1.017 (0.046)			
	180	0.904 (0.088)	0.901 (0.091)	1.057 (0.064)	1.047 (0.039)			
	200	0.857 (0.025)	0.890 (0.060)	1.044 (0.086)				
O ₂ -removal (ml/l)	100	25.8 (3.8)	26.1 (2.4)	27.0 (2.1)	25.9 (2.5)			
	120	24.7 (5.6)	28.4 (2.6)	25.9 (2.0)	25.6 (1.0)			
	140	22.9 (5.3)	27.8 (2.4)	26.4 (1.9)	25.5 (1.9)			
	160	27.3 (4.1)	28.6 (2.6)	24.8 (1.7)	24.0 (1.5)			
	180	28.6 (2.2)	29.4 (4.1)	24.6 (2.1)	25.5 (1.3)			
	200	27.4 (1.7)	24.3 (0.7)	23.3 (3.3)	—			
Breath rate (f/min)	100	27.9 (7.6)	72.0 (13.6)	69.2 (9.9)	68.4 (4.8)	71.6 (9.3)	73.6 (8.6)	72.8 (8.4)
	120	29.1 (7.3)	74.0 (11.7)	80.0 (12.6)	80.0 (9.5)	76.0 (6.3)	80.8 (9.3)	80.8 (9.4)
	140	31.4 (7.7)	75.2 (15.8)	77.2 (11.5)	75.6 (9.2)	73.2 (5.9)	71.6 (3.3)	78.0 (8.8)
	160	24.8 (4.4)	73.6 (21.4)	76.4 (15.2)	77.6 (5.2)	75.6 (3.8)	77.6 (4.3)	78.4 (5.2)
	180	28.7 (9.6)	75.6 (12.7)	76.0 (6.0)	76.4 (6.2)	82.0 (9.7)	78.0 (6.6)	75.0 (11.6)
	200	29.0 (3.0)	94.4 (9.7)	88.0 (7.6)	—	—	—	—

Means
(Sd)

Table 8. Respiratory quotients, oxygen removal and breath rates at various velocities on the treadmill (Female).

	Velocity (m/min)	at rest	0"-	30"-1'00"	-1'30"	-2'00"	-2'30"	-3'00"
R Q	100	0.874 (0.010)	0.799 (0.060)	0.779 (0.076)	0.876 (0.084)	0.880 (0.056)	0.899 (0.071)	0.919 (0.119)
	120	0.826 (0.058)	0.767 (0.038)	0.812 (0.059)	0.925 (0.074)	0.954 (0.072)	0.978 (0.037)	0.972 (0.068)
	140	0.830 (0.058)	0.801 (0.089)	0.885 (0.093)	0.928 (0.145)	0.966 (0.128)	0.951 (0.066)	0.965 (0.062)
	160	0.814 (0.063)	0.854 (0.074)	0.921 (0.103)	1.087 (0.050)	1.125 (0.046)	1.124 (0.045)	1.081 (0.012)
	180	0.874 (0.010)	0.848 (0.055)	1.021 (0.062)	1.137 (0.053)	—	—	—
O ₂ - removal (ml/l)	100	27.6 (2.5)	25.0 (1.8)	29.9 (2.5)	28.5 (3.4)	27.4 (3.1)	25.2 (1.1)	28.1 (3.5)
	120	27.5 (1.6)	26.7 (2.3)	30.2 (2.9)	27.8 (2.2)	26.9 (1.4)	25.9 (2.8)	26.7 (3.2)
	140	26.5 (3.3)	24.2 (2.3)	28.4 (3.6)	24.3 (1.8)	24.5 (1.9)	24.2 (1.1)	25.4 (1.2)
	160	28.4 (4.8)	25.2 (3.6)	26.2 (3.5)	22.7 (2.3)	21.5 (3.5)	21.5 (2.8)	21.1 (3.6)
	180	27.8 (2.6)	25.6 (2.0)	25.3 (3.9)	22.2 (1.2)	—	—	—
Breath rate (f/min)	100	23.2 (3.7)	44.4 (11.1)	47.2 (6.1)	53.2 (10.6)	51.6 (6.8)	53.2 (7.0)	52.4 (8.2)
	120	25.4 (2.5)	48.0 (8.1)	50.8 (9.9)	53.6 (7.7)	56.0 (7.6)	56.4 (5.7)	56.0 (4.2)
	140	23.8 (3.4)	50.7 (10.2)	57.4 (9.7)	61.7 (7.9)	64.6 (8.2)	67.2 (6.4)	69.9 (5.3)
	160	22.6 (5.4)	51.2 (13.6)	59.6 (9.7)	65.6 (8.4)	68.4 (9.6)	70.8 (9.4)	73.0 (7.0)
	180	23.2 (3.7)	60.7 (10.2)	66.4 (9.4)	68.0 (4.2)	—	—	—
Means (Sd)								

さらに心拍数に合わせて用いられる判定基準としては RQ があげられており、前回の報告¹¹⁾でも述べたように Binkhorst²⁾ と Wilmore ら⁷⁾は 1.0 を上回れば $\dot{V}O_2\max$ が得られるとしているが、本研究でも Table 7, Table 8 に示されているように最終段階前段及び最終段階の負荷において $\dot{V}O_2\max$ が発現された時点ではすべて 1.0 を上回っていることがわかった。したがって RQ が少なくとも 1.0 を越えるということが重要な判定基準のひとつになると考えられる。

そこで著者ら⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾のこれまでの測定結果を性別年齢別にみた平均値によってながめてみるとまず心拍数では 4 才男子の 200.0 bpm を除けば 202.9~208.3 bpm, また RQ も 1.014~1.177 の範囲にあり、本研究で得られた条件にほぼ適合し

ていることがわかった。

なお RQ が大きくなるにしたがって逆に小さくなる酸素摂取率 (O₂ removal) について、呼吸数を関連させながらながめてみると, Table 7, Table 8 からわかるように $\dot{V}O_2\max$ に相当する時点では男子が 23.0~26.0ml/l, 女子が 21.0~23.0ml/l となっており、男子が女子よりもいくぶん高いようである。また著者ら⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾のこれまでの測定において性別、年齢別にみると男子では 21.6~26.0 ml/l, 女子では 21.6~24.4ml/l であった。一般に $\dot{V}O_2\max$ における酸素摂取率は青少年において年齢とともに高まり⁸⁾, 15~16 才で 30ml/l にも達する。そこで幼児のこうした低い値についてのひとつの要因として、男子女子ともに 75 回/分を上回るという高い呼吸頻度による浅息呼吸も関与

しているものと思われる。そしてこうした値は Åstrand¹⁾ による $\dot{V}O_2\text{max}$ 時の同年令の男子 72.6 ($n=7$), 女子 65.6 ($n=5$) よりも高かった。また呼吸数の変化過程をみると運動開始後ただちに高い値に達しており, さらに強度が高くなればなお一層高い値を示している。例えば最終段階の最初の30秒間には男子が 94.4 回/分女子が 60.7 回/分という高い値に達している。こうした呼吸の促進は体液性変化によるものよりも本間が²⁾すでに指摘しているように, 1 回換気量 (V_T) の増大にともなう肺組織の伸張が求心性刺激となって中枢機構を動員し, 吸息時間及び呼息時間を短縮するといういわゆる rang 2 の機序によるものであろう。そしてこうした高い頻度の呼吸数は幼児特有のものと考えられるのでさらに今後の検討が必要であらう。

終りに幼児の安全な持久走の実践という立場からながめてみたい。ここでいう安全とは酸素の収支のバランスがとれているいわゆる有酸素的定常状態を意味するものである。そして Michael ら³⁾は速度が小さい段階では, 同一速度における心拍数と $\dot{V}O_2$ はトレッドミル走とグランド走の間に差がないことを報告しているのので, これらの条件にしたがえば持続時間を3分とするとほぼ 140m/min の速度ということになるであらう。さらに 120m/min であれば5分くらい持続してもよいであらう。しかしその際に Table 2~5 の心拍数及び $\dot{V}O_2$ からわかるように, 同一速度において女子は男子にくらべて $\dot{V}O_2$ が低いにもかかわらず心拍数が高いというはっきりした性差があるので, 定常状態の持続時間はより短くなることが予測される。したがって持続時間を女子ではより短かくするという性差も考慮すべきである。こうした配慮は始めて持久走を導入する場合, それがとくに運動不足の傾向にある市街地の幼児を対象にする時, 有効な目安として役立つであらう。

IV. 要 約

幼児の $\dot{V}O_2\text{max}$ 判定基準を明きらかにするため 4~5 才の男子, 女子それぞれ 5 名を対象として, トレッドミルを用いまず傾斜 0°, 持続時間 3 分に固定し, そして負荷強度としては 100m/min を最初の走行速度とし日を別にして 20m/

min ずつ増加することにより 3 分間持続できなくなるまでの数種の走行速度をあたえ, これらの心拍数, $\dot{V}O_2$ 及び RQ などの変化過程を検討した。また同時に幼児の持久走を安全に指導できるような基礎的な手掛りをも得ようとしたものであり, 主として次のような所見が得られた。

1) 男子, 女子ともに心拍数及び $\dot{V}O_2$ からみて 100m/min, 120m/min 及び 140m/min において定常状態としてのプラトーがみられたが, その心拍数において女子が男子よりも高く, $\dot{V}O_2$ に関しては全く逆の傾向がみられた。

2) 男子では最終段階の走行速度 200m/min において運動開始後30秒, 女子では 180m/min において60秒で, $\dot{V}O_2\text{max}$ に達している。したがって幼児では運動強度が十分大きければ運動開始後30~60秒で $\dot{V}O_2\text{max}$ が発現される。

3) 2分30秒は過ぎたが3分までは走り切れなかった男子, 女子1名をのぞき3分間走り切った最終段階前段の走行速度, 男子 180m/min, 女子 160m/min において $\dot{V}O_2$ の上限としてのプラトーすなわち $\dot{V}O_2\text{max}$ がみられた。

4) $\dot{V}O_2\text{max}$ 発現時の心拍数は 202.4~206.4 bpm であり, また RQ もすべて 1.0 を上回っている。したがってこれらの数値は $\dot{V}O_2\text{max}$ 判定の有力な基準になるものと思われる。

5) 運動強度が大きい場合に呼吸数は運動開始と同時に急速に高まり, 最初の30秒間で60~90回/分にも達している。

6) 有酸素的定常状態を安全な強度とすれば, 幼児の持久走導入の段階では3分間持続では 140m/min の走行速度が上限と考えられる。

本研究は第30回日本体育学会シンポジウム運動生理専門部会において「幼児の呼吸循環機能」というテーマで発表したものの一部である。

(受付 昭和55年5月20日)

参 考 文 献

- 1) Åstrand, P.O. (1952): Experimental Studies of Physical Working Capacity in Relation to Sex and Age. Copenhagen, Munksgaard.
- 2) Binkhorst, R.A. (1963): A Rapid Method for Determination of Aerobic Capacity. *Arbeitsphysiol*, 19: 459-467.
- 3) 本間生夫(1978): 呼吸リズム形成機構, 臨床生

- 理 8(4) : 277-286.
- 4) Michael, G.M., K.D. Coutts and L.H. Hamilton (1971) : Time course of heart rate, ventilation, and $\dot{V}O_2$ during laboratory and field exercise. J. Appl. Physiol, **30**(4) : 536-539.
- 5) Robinson, S. (1938) : Exeperimental Studies of Physical Fitness in Relation to Age. Arbeitsphysiol, **10** : 251-323.
- 6) Taylor, H.L., E. Buskirk and A. Henschel. (1955) : Maximal Oxygen Intake as an Objective Measure of Cardio-Respiratory Performance. J. Appl. Physiol, **8**(1) : 73-80.
- 7) Wilmore, J. H. and P.O. Sigereth. (1967) : Physical work capacity of young girls, 7-13 years of age. J. Appl. Physiol, **22**(5) : 923-928.
- 8) 吉沢茂弘(1971) : 農村青少年の作業能に関する研究(Ⅰ), 体育学研究, **15**(3) : 21-32.
- 9) 吉沢茂弘, 石崎忠利, 本多宏子(1975) : 幼児の有酸素的作業能に関する研究(Ⅰ), 体力科学, **24**(2) : 37-44.
- 10) 吉沢茂弘, 桜井 果(1976) : EKG 診断にもとづく幼児(5~6才)の有酸素的作業能に関する研究, 第8回関東甲信越静学校心臓病予防研究会, 宇都宮大会報告抄録.
- 11) 吉沢茂弘, 本多宏子(1979) : 幼児の有酸素的作業能に関する研究(Ⅱ), 体力科学, **28**(2) : 104-111.