

発育期青少年の疾走速度、地面反力と 脚筋力の関係について

松尾彰文* 福永哲夫* 浅見俊雄* 金久博昭**

* 東京大学教養学部

** 国際武道大学

The Effect of Age and Sex on Velocity of Sprint Running, Ground Reaction Force, and Maximum Muscle Strength of Lower Extremities.

Akifumi Matuso*, Tetsuo Fukunaga*

Toshio Asami*, Hiroaki Kanehisa**

*Department of Sports Sciences

College of Arts and Sciences

University of Tokyo.

**International Budo University.

Abstract

The purpose of this study is to observe the relation between the ground reaction force during sprint running and isokinetic peak forces (IPF) exerted by knee flexion and extension. Subjects were 248 males and females, aged from 7 to 18 year old. The ground reaction force exerted by the foot on the ground in running measured by means of Kistler's force platforms. The maximum velocity of subject passing over the force platforms ($V_f \max$) was determined by electrical signals from photocells placed 3 m apart before and after the force platforms. The mean ground reaction force (GRF) exerted to accelerate the body was calculated by the integration of force curves. The measurement of IPF of the knee flexion (MSKF) and extension (MSKE) was carried out by using Cybex II. The angular velocities at the knee joint were 0, 10, 30, and 50 RPM. All subjects were requested to run at a given distance (7~8 years; 20 m, 9~10 years; 25 m, 11~18 years; 30 m) on an experimental running track. $V_f \max$ increased from $4.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ at 7 years to $7.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ at 18 years in male subjects and also from $4.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ to $6.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ at 14 years in females. There are no significant differences among $V_f \max$ of 14 to 18 years in females. Both muscle strength of knee extension and flexion and GRF increased with age from 7 to 18 years in males, and also from 7 to 14 years in females. In the relationship among MSKE 30 which means MSKE at 30 RPM, external power, work, and ground reaction force, it was suggested that the muscular power output effected on the force, power and work for the increment of the forward velocity rather than vertical one. Although, the muscle strength and the ground reaction force increased with the growth the ratio of the muscle strength to GRF decreased with the growth. It was considered from these results that the effect of the neuromuscular function on the running strength was improved with the increment of the age, and that the differences of the body size, may affected on the running skill.

緒言

発育期にある青少年の走運動能力について、従来より多くの報告がある。Ikai¹⁾は、50mと100mの疾走時間から計算した疾走速度は、14~16歳まで増大するがそれ以上の年齢では顕著な増大はみられないことを報告している。また、男女差についてみると、11, 12歳から、男子の疾走速度は女子のそれよりも高い値を示す傾向があることも報告している。そして、このような疾走速度の発達は、筋力の発育と類似しているとも述べている。一方、走動作の発育については、宮丸ら¹³⁾によると、ほぼ8歳で成人のパターンに達することが報告されている。

疾走中の身体重心の前進速度は、地面に作用した力から推定する²⁾と、接地期前半では接地時の衝撃を受けて減速し、その後半では加速する。この後半の加速は、主に脚の筋出力によるものと考

えられる。これらのことから、発育期にある青少年の疾走能力は、加齢にともなう筋力の推移と密接な関係にあるものと考えられる。

本研究では、発育期にある青少年を対象として、膝関節および足関節の筋出力と疾走中に地面に作用した力の関係をみることにより、性および年齢による脚筋力の差異が疾走速度、地面反力におよぼす影響について検討しようとした。

方法

被検者は、7歳から18歳までの男子129名、女子119名であった。男女とも、被検者を年齢ごとにそれぞれ12のグループに分けた。各年齢群の、年齢・身長・体重の平均値と標準偏差は表1に示した。

脚筋力は、膝関節の伸展及び屈曲動作時の等速性筋力、足関節の底屈と背屈時の等尺性筋力として求めた。膝関節の伸展及び屈曲動作時の力は、

Table 1. Physical characteristic of subjects.

	N	Age (yrs)		Height (cm)		Weight (kg)		
		Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	
Male	MA 07	10	6.6	0.3	116.4	2.0	21.3	1.4
	MA 08	10	7.8	0.2	122.5	1.9	23.9	1.6
	MA 09	10	8.9	0.2	128.6	3.4	26.8	1.2
	MA 10	10	9.9	0.3	133.5	1.3	28.6	1.8
	MA 11	10	10.6	0.2	140.6	4.8	34.7	5.4
	MA 12	10	11.6	0.3	143.0	4.5	37.0	5.3
	MA 13	11	12.9	0.2	156.6	2.0	45.2	1.8
	MA 14	11	13.9	0.3	160.2	1.3	48.1	2.9
	MA 15	11	14.8	0.3	165.0	1.4	52.7	2.2
	MA 16	12	16.2	0.5	166.6	4.5	59.4	11.5
MA 17	12	16.9	0.3	167.7	3.8	62.1	9.7	
MA 18	12	18.0	0.3	171.2	4.6	64.6	8.8	
Female	FE 07	10	6.7	0.3	116.2	1.9	21.3	2.1
	FE 08	9	7.8	0.3	123.6	2.5	25.0	2.2
	FE 09	9	8.9	0.3	126.5	1.1	25.1	2.3
	FE 10	8	9.7	0.2	133.8	3.9	28.9	1.6
	FE 11	9	10.8	0.3	135.6	3.5	29.6	3.4
	FE 12	10	11.8	0.3	149.4	2.3	40.1	4.7
	FE 13	12	13.0	0.4	151.9	1.9	44.6	2.1
	FE 14	10	13.9	0.3	155.7	1.3	47.9	2.1
	FE 15	12	14.9	0.2	156.1	2.0	49.9	2.7
	FE 16	10	16.1	0.3	158.1	4.7	50.5	6.3
FE 17	10	16.9	0.2	158.6	5.5	51.4	4.1	
FE 18	10	18.2	0.3	158.3	0.8	50.7	1.7	

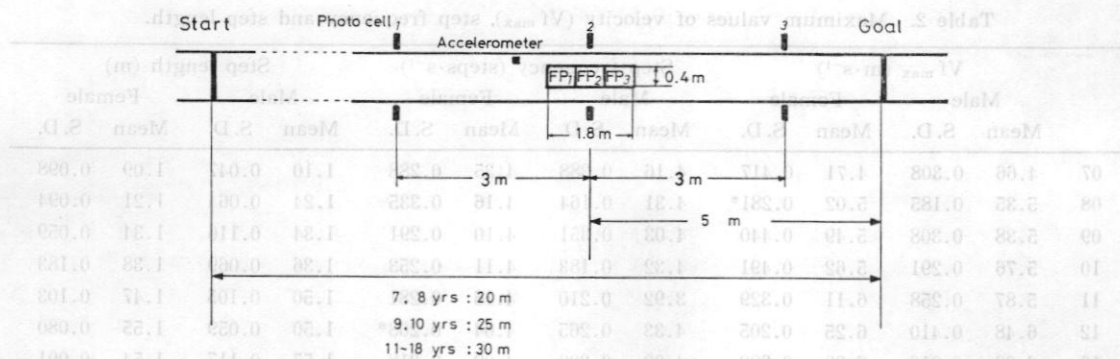


Fig. 1. Schematic illustration of experimental apparatus.

CYBEX II を用いて、椅座位姿勢で測定した。なお、測定した角速度は、0, 10, 30, 50 RPM であった。足関節の底屈および背屈時の力 (MSDF, MSPF) は、ストレングスを用いた特別製の筋力測定装置を用いて椅座位姿勢で測定した。疾走中の地面反力、疾走速度の測定は、屋外の実験用走路 (長さ: 80m, 幅: 1.5m, レズライト舗装: 日本舗道社製) を用いて実施した。図 1 に、測定装置の配置を模式的に示した。地面反力の測定には、KISTLER 社製圧力板を用いた。疾走速度 ($V_f \max$) は、圧力板前後 3m 区間に設置した光電管の電気信号から計算した。被検者は、実験用走路で全力疾走 (7~8 歳; 20m, 9~10 歳; 25m, 11~18 歳; 30m) を 2 回、十分な休息をはさんで実施した。なお、圧力板前後 3m 区間を通過する時間が 10% 以上異なった場合には、再度測定を実施した。

疾走中の地面反力の水平前後成分から、接地時を負の相 (Negative phase) と正の相 (positive phase) に分けることができる。負の相では身体重心の前進方向の速度は減速し、正の相では加速する。この身体を加速するために作用した地面反力は、主に、脚の筋収縮により地面に作用した力の反作用であると考えられる。そこで、本研究では、圧力板から得られた力時間曲線から、次のよ

$$GRF_f = \frac{1}{tp} \int GRF_f \cdot dt$$

$$GRF_v = \frac{1}{tp} \int GRF_v \cdot dt$$

$$GRF = \sqrt{GRF_f^2 + GRF_v^2}$$

うにして地面反力 (GRF) を定量化した。

ここで、 GRF_f は GRF の水平前進方向の成分、 GRF_v は GRF の垂直方向の成分、 tp は身体重心が加速されている時間である。

疾走中の外的仕事および外的パワーは Cavagna G.A.²⁾ の方法に従って地面反力と疾走速度から計算した。疾走中の外的パワー (P_{ext}) は、

$$P_{ext} = P_f + P_v$$

とした。ここで、 P_f は身体を前進方向に加速するためのパワー、 P_v は身体を上昇させるためのパワーである。 P_f と P_v は、地面反力から、

$$P_f = GRF_f \cdot V_{fp}$$

$$P_v = GRF_v \cdot V_{vp}$$

として算出した。なお、 V_{fp} と V_{vp} は、圧力板から得られた正の相の力-時間曲線を積分して算出した。また、仕事 (W) は、パワー (P) から、

$$W = P \cdot tp$$

として計算した。

結果と考察

1. 疾走速度と歩幅、歩数の関係について

表 2 は、各群の疾走速度 ($V_f \max$) とそのときの歩数 (S_f) および歩幅 (Sl) の平均値と標準偏差を示したものである。 $V_f \max$ は、男子では 7 歳の $4.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ から 18 歳の $7.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ まで、加齢にともない増加する傾向がみられた。一方、女子では、7 歳の $4.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ から 14 歳の $5.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ まで増加する傾向がみられたが、14 歳以上の年齢では顕著な増加はみられなかった。男女差についてみると、14 歳から男子の $V_f \max$ は、女子よりも統計的に 1% 水準で有意に高い値を示す傾向

Table 2. Maximum values of velocity ($V_{f_{max}}$), step frequency and step length.

	$V_{f_{max}}$ ($m \cdot s^{-1}$)				Step frequency ($steps \cdot s^{-1}$)				Step length (m)			
	Male		Female		Male		Female		Male		Female	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
07	4.66	0.308	4.71	0.417	4.16	0.388	4.35	0.288	1.10	0.047	1.09	0.098
08	5.35	0.185	5.02	0.281*	4.31	0.164	4.16	0.335	1.24	0.064	1.21	0.094
09	5.38	0.308	5.49	0.440	4.03	0.351	4.10	0.291	1.34	0.116	1.34	0.059
10	5.76	0.291	5.62	0.491	4.32	0.183	4.11	0.253	1.36	0.069	1.38	0.183
11	5.87	0.258	6.11	0.329	3.92	0.210	4.16	0.281	1.50	0.105	1.47	0.103
12	6.48	0.410	6.25	0.205	4.33	0.265	4.04	0.203*	1.50	0.059	1.55	0.080
13	6.38	0.216	6.29	0.392	4.09	0.339	4.09	0.318	1.57	0.117	1.54	0.091
14	7.08	0.430	5.88	0.327***	4.23	0.394	3.73	0.276**	1.68	0.110	1.58	0.129
15	7.44	0.387	6.14	0.425***	4.14	0.256	4.04	0.249	1.80	0.111	1.52	0.101**
16	7.65	0.500	6.82	0.283***	4.59	0.347	4.10	0.262**	1.67	0.137	1.67	0.105
17	7.59	0.435	6.58	0.292***	4.40	0.269	4.33	0.239	1.73	0.076	1.52	0.074***
18	7.95	0.429	6.76	0.164***	4.35	0.274	4.04	0.195**	1.83	0.061	1.68	0.085***

***; $p < 0.001$ **; $p < 0.01$ *; $p < 0.05$

がみられた。発育にともなう疾走速度の変化は、これまでに多くの研究報告がある^{5), 6), 11)}。本研究結果は、従来の報告とほぼ一致するものであった。

歩数についてみると、各群とも 3.7 から 4.5 $step \cdot s^{-1}$ の値であり、年齢による一定の傾向がみられなかった。

歩幅についてみると、加齢にともない男子では 7 歳の 1.1m から 18 歳の 1.83m まで、また、女子では、7 歳の 1.1m から 12 歳の 1.6m まで増加する傾向がみられるが、その年齢以上では、顕著な変化はみられなかった。男女差についてみると、15 歳から 18 歳まで、0.1% 水準で有意な差がみられた。走速度は歩数と歩幅の積であることから考えると、加齢にともなう疾走速度の増大は、主に歩幅の増大に起因していると考えることができる。

年齢で消去した偏相関のみた場合、身長と走速度の間には、有意な相関関係はみられなかった。しかしながら、身長と歩数の間には、男子; $r_{12-3} = -0.325$, 女子 $r_{12-3} = -0.352$, $p < 0.001$ で有意な負の相関関係がみられた。また、身長と歩幅では、男子; $r_{12-3} = 0.432$, 女子; $r_{12-3} = 0.390$, $p < 0.001$ で有意な正の相関関係がみられた。このことは、各年齢とも身長が高いほど、Sl は大きく、Sf は少なくなる傾向があることを示してい

る。ダイメンジョン論の立場からみると、歩数は体肢の長さに反比例するが、歩幅は、正比例するとみなせる。本研究の結果は、このような考え方を支持するものである。

2. 脚筋力について

年齢群ごとの脚筋力を測定部位ごとの平均値と標準偏差値で示したのが表 3 である。膝関節の等速性最大筋力は、各角速度で、男子では 16 歳まで、女子では 13 歳まで、加齢にともない顕著な増加がみられたが、男女ともその年齢以上では、顕著な増加はみられなかった。一方、男女差についてみると、各項目とも、ほぼ 13 歳もしくは 14 歳から男子の筋力は女子のそれよりも統計的に 1% あるいは 0.1% 水準で有意に高い値を示した。金子⁹⁾によると、6 歳から 17 歳までの膝関節伸展パワーの推移は男子では 6~17 歳まで増加し、15 歳以後の増加はみられず、一方、女子では 11 歳まで男子と同様の増加傾向をたどり、14 歳以後の増加はみられないことが報告されている。本研究でも年齢の増加にともなう等速性最大筋力の推移は膝関節の伸展および屈曲時のすべての角速度で金子⁹⁾の報告とほぼ同様の増加傾向を示した。

3. 疾走中の地面反力, 外的仕事, および外的パワーについて

表 4 は走運動中の外的仕事 (Wext), 外的パワー (Pext) および地面反力 (GRF) を平均値と標

Table 3. Maximum voluntary muscle strength of ankle and knee joints.

Ankle (N)	Dorsal Flexion				Plantar Flexion			
	Male		Female		Male		Female	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
07	102	16.1	88	6.3*	272	47.5	323	59.0
08	129	13.2	122	16.2	445	64.6	383	43.9*
09	145	20.3	127	22.6	460	74.8	415	41.4
10	166	27.3	156	12.6	537	93.2	495	41.4
11	216	55.0	161	15.8*	633	86.0	535	79.7*
12	191	25.7	189	33.9	694	74.1	743	107.2
13	264	19.6	258	26.5	851	105.1	893	62.0
14	331	49.8	267	35.7**	990	160.2	888	93.5
15	330	34.7	251	29.1**	1129	191.4	1026	171.2
16	409	74.0	209	30.3***	1373	269.8	979	127.3***
17	371	54.5	310	53.4***	1431	207.7	990	145.0***
18	381	39.4	269	41.7***	1320	175.3	1040	100.7***

Knee (N)	0 RPM				10 RPM				30 RPM				50 RPM			
	Male		Female		Male		Female		Male		Female		Male		Female	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
07	136	21.9	123	12.4	121	23.6	121	23.6	67	15.3	67	15.3	37	8.6	37	8.6
08	152	21.3	142	34.1	148	18.3	137	23.6	106	17.2	84	16.1*	68	11.9	47	9.8**
09	163	18.0	139	32.8	154	18.5	137	21.3	114	16.3	88	22.9*	72	16.4	49	13.3**
10	212	17.0	215	49.8	186	29.3	191	31.2	123	15.8	123	15.8	81	9.8	76	8.5
11	213	38.9	196	49.5	198	45.7	170	34.8	154	30.0	116	20.3*	92	24.3	64	16.0**
12	266	37.9	297	36.4	254	44.7	282	39.2	197	36.6	187	18.8	128	26.1	116	13.0
13	353	63.0	332	64.6	297	36.8	299	42.7	198	23.1	198	27.6	132	16.2	122	14.1
14	424	82.1	306	45.9***	378	65.6	291	46.2**	271	38.4	188	22.2**	168	26.4	117	23.1***
15	489	107.3	401	66.2***	406	61.5	339	67.2*	275	48.9	215	27.0***	185	31.2	131	21.0***
16	561	74.5	356	52.5***	442	55.4	341	43.4***	309	31.9	234	20.3***	198	23.2	143	14.2***
17	615	117.2	407	77.0***	473	91.7	329	42.6***	332	37.4	223	34.6***	209	24.6	139	28.2***
18	599	85.4	440	66.5***	510	91.5	375	61.5**	333	44.8	248	20.0***	198	45.6	146	25.3**

Ankle (N)	Dorsal Flexion				Plantar Flexion			
	Male		Female		Male		Female	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
07	93	13.7	88	11.8	82	17.6	82	17.6
08	99	11.5	89	12.8	83	18.3	75	16.5
09	104	12.2	72	10.9***	100	9.1	73	12.0***
10	127	15.7	135	28.1	118	18.3	119	23.4
11	129	24.0	119	12.8	133	30.2	93	25.0
12	177	37.9	148	23.1	167	57.0	147	25.6
13	208	23.5	179	34.5*	199	20.2**	166	20.2**
14	239	47.0	180	24.4**	236	42.3	164	25.5***
15	269	50.8	201	33.0**	216	26.9	185	28.3**
16	314	60.9	211	55.7***	275	55.0	189	35.2***
17	317	49.9	215	35.7***	272	35.6	200	38.7***
18	288	41.5	229	40.9**	280	35.9	199	18.2***

***; p<0.001 **; p<0.01 *; p<0.05

Table 4. Mechanical external work, power, and ground reaction force.

	Wf (J)				Wv (J)				Wext (J)			
	Male		Female		Male		Female		Male		Female	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
07	22.0	3.4	24.6	4.3	10.3	2.3	10.7	1.3	32.9	5.5	35.1	4.7
08	30.6	2.7	29.0	5.0	9.4	2.8	10.4	2.7	39.7	4.6	39.2	6.0
09	35.2	7.2	35.7	5.6	13.6	3.3	11.8	2.3	48.1	6.9	47.2	6.0
10	44.0	5.1	39.9	6.9	14.6	3.1	14.1	3.3	58.3	6.6	53.5	8.7
11	57.5	11.9	46.7	7.0*	19.6	4.7	14.4	1.9*	76.6	14.6	60.9	8.4*
12	61.7	8.7	70.7	6.4*	19.2	4.9	21.5	2.8	80.2	11.3	91.7	7.5*
13	78.0	10.5	70.4	9.3	28.3	2.8	23.7	5.8*	104.8	11.5	92.8	9.1*
14	99.5	15.9	74.0	9.2***	26.7	5.0	31.3	4.8	124.2	13.3	103.7	12.7**
15	116.1	11.8	77.2	15.5***	29.9	10.6	26.1	5.9	142.4	14.2	102.0	17.8***
16	124.8	16.7	107.3	22.1	28.0	5.3	27.8	4.7	151.9	19.6	134.4	26.4
17	136.1	20.6	91.5	11.5***	29.9	8.5	24.2	3.5	165.7	24.5	114.8	12.7***
18	141.9	16.6	90.8	9.0***	28.9	5.9	26.4	2.2	169.8	19.1	116.3	9.4***

	Pf (Watt)				Pv (Watt)				Pext (Watt)			
	Male		Female		Male		Female		Mean		Female	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.S.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
07	272	50.6	312	73.7	110	19.0	121	19.3	390	60.8	429	82.4
08	401	39.9	364	48.7	109	31.0	120	26.7	503	59.0	478	39.7
09	431	76.0	460	84.6	142	24.5	135	17.6	564	74.6	581	86.2
10	564	82.5	527	96.4	165	38.3	164	35.9	722	99.2	682	117.4
11	660	118.5	624	89.2	204	48.4	175	23.4	865	145.5	794	106.6
12	787	111.7	892	83.6*	211	46.1	242	27.2	986	131.1	1123	96.7**
13	948	152.9	900	128.2	292	29.7	256	61.8	1220	167.0	1142	127.4
14	1231	243.8	868	91.7***	298	33.6	313	40.9	1509	208.1	1160	108.2***
15	1476	191.4	942	199.0***	347	137.5	272	64.2	1779	220.1	1198	235.6***
16	1707	255.2	1314	244.5**	346	59.9	308	51.4	2043	305.2	1613	293.8**
17	1816	313.5	1179	118.0***	369	99.4	274	38.6**	2181	385.3	1429	124.5***
18	1972	267.8	1168	106.5***	356	56.0	300	29.1**	2309	289.3	1453	124.8***

	GRFf (N)				GRFv (N)				GRF (N)			
	Male		Female		Male		Female		Male		Female	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
07	61	9.4	66	10.4	301	28.2	316	43.5	307	29.5	323	44.5
08	75	7.4	73	8.5	332	41.1	352	33.4	340	41.2	360	33.2
09	81	10.0	84	10.3	378	26.7	371	33.3	387	26.4	380	34.2
10	94	8.7	95	11.6	422	47.1	432	41.6	432	46.8	442	42.3
11	114	17.3	103	10.7	504	73.5	457	50.1	516	74.9	469	51.1
12	123	15.0	144	13.6**	551	78.3	610	61.4	594	79.0	627	62.5
13	150	19.3	145	13.4	684	46.3	662	48.7	701	48.1	678	48.7
14	173	22.3	151	11.3*	736	42.7	717	45.8	756	44.5	733	45.7
15	200	20.9	155	23.9***	800	65.2	711	85.0*	825	67.1	728	86.7*
16	225	30.6	194	30.9*	923	145.2	771	111.3*	950	147.5	795	115.3*
17	240	33.6	182	14.8***	971	173.0	750	54.3**	1000	174.8	772	54.5**
18	250	32.3	175	13.9***	983	106.9	769	31.5***	1014	109.8	789	32.3***

***; $p < 0.001$ **; $p < 0.01$ *; $p < 0.05$

準偏差で示したものである。Wext, Pext, GRF およびそれぞれの水平前進方向の成分は加齢にともない増加する傾向がみられた。一方、垂直成分は、12~14 歳くらいまでは、加齢にともなう顕著な増加傾向がみられるが、それ以後では、顕著な増加はみられなかった。男女差についてみると、Wext, Pext, GRF ならびに各水平前進方向の成分では、13~14 歳くらいから有意な差異がみられた。しかしながら、垂直成分では、ほとんど有意な差はみられなかった。

4. 脚筋力と疾走速度の関係

疾走速度と脚筋力の間には、0.1% 水準で有意に高い直線相関関係がみられた。年齢を消去した偏相関でみた場合の疾走速度と脚筋力との偏相関係数を表 5 に男女別に示した。偏相関でみた場合、男子に於いて Vf max と脚筋力との間には、0.1% 水準で有意な相関関係があった。特に膝関節の伸展動作時の筋力とは、どの角速度で測定した筋力とも 0.1% 水準で有意な偏相関関係を示した。一方、女子では、30 RPM および 50 RPM で測定した膝関節の伸展および屈曲動作時の筋力と、Vf max との間には、1% もしくは 5% 水準で有意な相関関係があったにすぎなかった。男女とも膝関節の伸展動作時の筋力と疾走速度との相関係数は他に測定した筋力との間にみられた係数よりも高い値を示した。また、角速度が大きいほど相関係数も高くなる傾向がみられた。このこと

Table 5. Partial correlation coefficient among muscle strength, maximum running velocity, and age.

		Male	Female
n		129	119
Ankle	Dorsal flexion	0.207*	0.035
	Plantar flexion	0.338***	0.077
Knee	Extension 0 RPM	0.323***	0.123
	10	0.336***	0.168
	30	0.406***	0.271**
	50	0.442***	0.229*
Flexion	0 RPM	0.290**	0.173
	10	0.222***	0.110
	30	0.280**	0.186*
	50	0.185*	0.212*

***; $p < 0.001$ **; $p < 0.01$ *; $p < 0.05$

は、疾走能力は、主に膝関節のより速い伸展動作時の筋力に依存しているものと考えられる。

5. 脚筋力と疾走中の地面反力、外的仕事、と外的パワーの関係

疾走中の地面反力、外的仕事、及び外的パワーと膝関節の筋力との関係についてみると、Wv 及び Pv と筋力との間には、有意な相関関係がみられなかった。しかしながら、Wext, Wf, Pext および Pf と膝関節の筋力との間には 0.1% 水準で有意な相関関係があった。

疾走中の地面反力 (GRF)、外的仕事 (Wext) お

Table 6. Partial correlation coefficient among muscle strength, ground reaction force, mechanical work and power, and age.

Angular velocity (RPM)	male n=129				female n=119			
	0	10	30	50	0	10	30	50
GRFf	0.347***	0.383***	0.439***	0.326***	0.219*	0.367***	0.400***	0.454***
GRFv	0.341***	0.270**	0.384***	0.277**	0.234**	0.411***	0.497***	0.438***
GRF	0.347***	0.287**	0.392***	0.284**	0.237**	0.415***	0.515***	0.446***
Wf	0.445***	0.489***	0.565***	0.457***	0.163	0.311**	0.419***	0.399***
Wv	0.102	0.050	0.154	0.146	0.104	0.304**	0.254**	0.273**
Wext	0.410***	0.419***	0.535***	0.426***	0.167	0.355***	0.436***	0.419***
Pf	0.443***	0.463***	0.495***	0.403***	0.186	0.329***	0.452***	0.399***
Pv	0.212*	0.155	0.232**	0.223*	0.107	0.320***	0.289**	0.294**
Pet	0.455***	0.341***	0.507***	0.416***	0.191	0.379***	0.472***	0.423***

***; $p < 0.001$ **; $p < 0.01$ *; $p < 0.05$

よび外的パワー (Pext) と膝関節の伸展動作時の筋力 (MSKE) の関係を年齢を消去した偏相関でみた場合の相関係数を表 6 に示した。GRF, GRFf, GRFv と各角速度での MSKE との間には, 0.1% 水準で有意な偏相関関係がみられた。また, 角速度ごとにみると, 30 RPM で測定した MSKE が他の角速度に比べ最も高い偏相関係数を示した。筋力と Wf, Wext との間には, どの角速度でも 0.1% 水準で有意な相関関係があったが, 垂直方向の成分 (Wv) との間には, 有意な相関関係がなかった。角速度ごとに比較すると, 30 RPM で最も高い相関係数がみられた。外的パワーについてみても, Wext とほぼ同様の傾向が得られた。以上のことは 30 RPM での膝関節伸展動作時の筋力 (MSKE30) が, GRF, W, P と密接な関係があることを示唆していると考えられる。

6. 角速度 30 RPM の膝関節伸展動作時の等速性最大筋力 (MSKE 30) と地面反力, 外的仕事, 外的パワーの関係

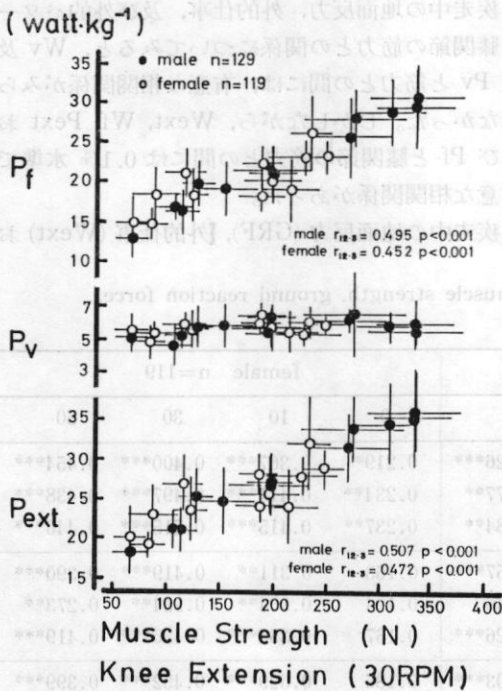


Fig. 2. Relationship among muscle strength of knee extension at 30 RPM of angular velocity and external power in sprint running. Values are mean and S.D.

角速度 30 RPM での膝関節伸展動作時の等速性最大筋力 (MSKE 30) と体重あたりの外的パワーとの関係についてみたのが図 2 である。図中の Pext は外的パワー, Pf は身体を前後方向に加速するためのパワー, Pv は身体を垂直方向に持ち上げるためのパワーである。Pf, Pext は, 加齢にとまなり MSKE 30 の増大に比例して, 高い値を示す傾向があるが, 一方, Pv はほぼ一定の値 (5 Watt·kg⁻¹) を示した。

地面反力 (GRF) と MSKE 30 の関係についてみたのが図 3 である。図中の GRF は地面反力, GRFf は前進方向の成分, GRFv は垂直方向の成分である。MSKE 30 の増大に比例して, GRFf は 2.8 から 3.8 N·kg⁻¹ まで増大するが, GRFv と GRF は, ほぼ一定の値 15 N·kg⁻¹ を示す傾向がみられた。しかしながら年齢で消去した偏相関でみた場合, 男女とも GRFf, GRFv と GRF との間に 0.1% 水準で有意な相関関係があること

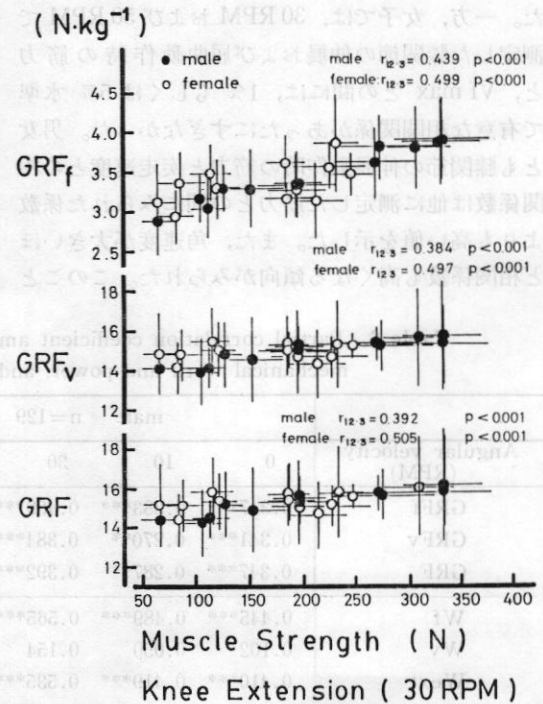


Fig. 3. Relation among between isokinetic muscle strength of knee extension at 30 RPM of angular velocity of Cybex II and ground reaction forces. Values are mean and S.D.

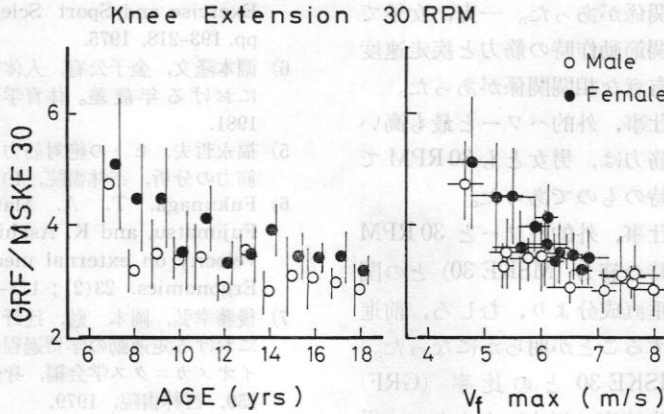


Fig. 4. The ratio of ground reaction force against muscle strength of knee extension as a function of age and maximum running velocity are mean and S.D.

がみられた。これらのことから、同年令では、脚筋力があるものは、GRF も大きい値を示す傾向にあることがわかった。

7. 地面反力脚筋力の比率について

図4では、MSKE 30 にたいする GRF の割合 (GRF/MSKE 30) と年齢、および疾走速度の関係についてみたものである。GRF/MSKE 30 は、加齢にともない、男子では、7~8歳で顕著な減少傾向がみられ、以後、緩やかな減少傾向がみられたが、女子は、ほぼ、一定の減少傾向を示した。つまり、女子では、ほぼ、V_f max の増大にともない直線的に減少するが、男子では、V_f max が、5 m·s⁻¹ を境に、それ以後、緩やかな減少傾向がみられている。また、女子は男子に比べ、同じ疾走速度に対して GRF/MSKE 30 は、高い値を示す傾向がみられた。このような差異が生じる要因として、まず、走運動の技術的な差異が考えられる。次に、体格や神経筋機能といった身体資源の差異などが考えられる。

走運動の技術的な面から後藤ら⁷⁾は、幼児と成人について疾走中の動作および筋電様相では、7歳以上でほとんど成人のパターンと類似していることを報告している。これらのことから、本研究の被検者の年齢では、年令にともなう走運動の技術的な差異は少なく、従って、GRF/MSKE 30 の減少傾向を走技術の面から説明することはできないものと考えられる。

Asumussen ら¹⁾は、デイメンジョン論的な立

場から、脚筋力は身長²に比例すると考えられるが、7歳から17歳までを対象とした実測値は身長^{2.89}に比例すると述べている。この理由としては、彼らは年齢の増加にともなう神経系の発達により筋力発揮に関与する運動の動作が巧みになることに起因すると考えた。このようなことから、7歳頃で走運動の技術はほぼ成人と同じ水準に達しているが神経筋機能は成熟過程にあり、このことが地面反力/筋力比に変化をもたらしているものと考えられる。

結論

疾走速度、そのときの地面反力および脚筋力を、7歳から11歳までの健康な男女248名について測定し、疾走中に身体を加速するために作用した力と脚筋力の関係のおよぼす性・年齢の影響について検討した。その結果、次のようなことが明らかになった。

1. 疾走速度 (V_f max) は男子では7歳の4.6から18歳の7.9 m·s⁻¹まで加齢にともない増加する傾向がみられた。女子では7歳の4.6から13歳の6.3 m·s⁻¹まで増加する傾向がみられたが、それ以後顕著な増加はみられなかった。男女差についてみると、14歳から男子が統計的に女子よりも有意に高い値を示した。
2. 疾走速度と脚筋力のすべての項目との間には0.1%水準で有意な相関関係がみられた。年齢を消去した偏相関でみた場合には、男子では、疾走速度と膝関節動作時の筋力の間には0.1%

水準で有意な相関関係があった。一方、女子では、30 RPM の膝関節動作時の筋力と疾走速度の間に1%水準で有意な相関関係があった。

- 3. 地面反力と外的仕事, 外的パワーと最も高い相関係数を示した筋力は, 男女とも30 RPMでの膝関節伸展動作時のものであった。
- 4. 地面反力と外的仕事, 外的パワーと30 RPMの膝関節伸展動作時の筋力 (MSKE 30) との関係から, 脚筋力は垂直成分より, むしろ, 前進方向の成分に影響することが明らかになった。
- 5. 地面反力と MSKE 30 との比率 (GRF/MSKE 30) は, 疾走速度の増大にともない, 男子では $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ までは顕著な減少傾向を示し, それ以後は緩やかに減少した。女子では, $V_f \text{ max}$ の増大にともないほぼ直線的に減少する傾向がみられた。このようなことが生じる原因として, 体格, あるいは, 神経筋機能の発達の差によるものと推察された。

参考文献

- 1) Asmussen, E. and KR. Herrboll-Nielsen. A dimensional analysis of physical performance and growth in boys. *J. Appl. Physiol.* 7; 593-603. 1954.
- 2) Cavagna, G.A. Force platform as ergometers. *J. Appl. Physiol.* 39(1); 174-179, 1975.
- 3) Cavagna, G.A., H. Thys, and A. Zamboni. The sources of external work in level walking and running. *J. Physiol.* 262; 639-657, 1976.
- 4) Cavanagh, P.R. and M.A. Lafortune. Ground reaction forces in distance running. *J. Biomechanics.* 13; 397-406.
- 5) Dillman, J.C. Kinematic analysis of running.

- Exercise and Sport Sciences Reviews*, vol. 3. pp. 193-218, 1975.
- 6) 淵本隆文, 金子公有. 人体筋の力, 速度パワー関係における年歳差. *体育学研究*, 25(4); 273-280. 1981.
- 5) 福永哲夫. ヒトの絶対筋力—超音波による体肢組織筋力の分析, 杏林書院, 1978.
- 6) Fukunaga, T., A. Matsuo, K. Yuasa, H. Fujimatsu, and K. Asahina. Effect of running velocity on external mechanical power output. *Ergonomics.* 23(2); 123-136, 1980.
- 7) 後藤幸弘, 岡本 勉, 辻野 昭, 熊本水頼. 幼児における走運動の学習過程の筋電図的研究. *日本バイオメカニクス学会編, 身体運動の科学III*, pp 248-259, 杏林書院, 1979.
- 8) Ikai, M. Biomechanics of sprint running with respect to the speed curve. In J. Wartenweiler (ed.), *Biomechanics I* pp. 282-290, Karger, Basel. New York, 1968.
- 9) 金子公有 瞬発的パワーからみた人体筋のダイナミックス. 杏林書院, 1974.
- 10) 楠本秀忠, 南 勝巳, 本間聖康, 後藤幸弘, 辻野 昭. 幼児・児童の歩行走行における速度, 歩数, 歩幅・筋放電量の関係について. *日本バイオメカニクス学会編, 身体運動の科学 V. スポーツバイオメカニクスへの挑戦.* pp.125-133. 杏林書院, 1983.
- 11) Matsuo, A. and T. Fukunaga. The effect of age and sex on external mechanical energy in running. In H. Matsui and K. Kobayashi (ed.), *Biomechanics VIII-B* pp.676-680, Human Publishers, Illinois, 1983.
- 12) 松下健二, 後藤幸弘, 岡本 勉, 辻野 昭, 熊本水頼. 走の筋電図的研究. *体育学研究* 19(3); 147-156, 1974.
- 13) 宮丸凱史. 走る動作の発達. *体育の科学* 28(5): 306-313, 1978.
- 14) 宮丸凱史. 幼児の走技能. *体育の科学* 33(2); 90-97, 1983.
- 15) 斎藤昌久, 宮丸凱史, 湯浅影元, 三宅一郎, 浅川正一. 2~11 歳児の走運動における脚の動作形式. *体育の科学.* 31(5); 357-361, 1981.