

「動作前 silent period の出現率について」[†]

— 第7報 身体特性の影響 —

脇田 裕久*・八木 規夫*・長井 健二*・矢部京之助**

The Rate of Appearance in Silent Period Observed Just before a Rapid Voluntary Movement.

7. Effect of Physical Characteristics

Hirohisa WAKITA*, Norio YAGI*, Kenji NAGAI* and Kyonosuke YABE**

Abstract

It has been observed that the pre-movement silent period (p. s. p.) appears just before a rapid voluntary movement. The present study was designed to investigate the effect of physical characteristics on the appearance of p. s. p. Subjects were healthy 77 males and 59 females aged 16-18 years. Body height, weight, skinfold thickness, isometric leg strength and reaction movement were measured on each subject. On the measurement of reaction movement, they were asked to maintain the standing posture with knee joint flexed at about 50 degrees on the force plate and to extend their knee joint responding to a flashing lamp as quickly as possible. The EMG activities of M. vastus lateralis, M. vastus medialis and M. biceps femoris were recorded using bipolar surface electrodes. Vertical force curve was recorded when the subjects extended the knee joint on a force plate.

The following results were obtained from this experiment.

- 1) Positive significant correlation was found between the rate of appearance in p. s. p. and the rate of tension rise, and the peak force during the reaction movement.
- 2) Negative significant correlation was found between the latency of p. s. p. and the body fat mass, and the correlation between the latency of p. s. p. and the leg strength was positively significant.
- 3) No significant correlation was found between the duration of p. s. p. and physical characteristics.
- 4) The correlation between the movement time and body fat mass was positively significant.
- 5) Positive significant correlation was found between the peak value of force curve and the leg strength, and the correlation between the peak value of force curve and the percent of body fat was negatively significant.
- 6) Positive significant correlation was found between the rate of tension rise and the leg strength, and the correlation between the rate of tension rise and the percent of body fat was negatively significant.

It is suggested from these results that increasing the body fat mass delayed the latency of p. s. p. and movement time, and that increasing the leg strength shortened the movement time, raised the peak value of force curve and increased the rate of tension rise. On the other hand, the rate of appearance in p. s. p. might be effected by dynamic leg strength during reaction movement.

[†] 原稿受理日 昭和62年10月15日

* (三重大学教育学部)

** (名古屋大学総合保健体育化学センター)

研究目的

あらかじめ主動筋に軽度の随意的な緊張を与えた状態から、急速な反応動作を起こすと、動作に先行して主動筋に筋放電の休止期が出現する¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾。この動作前 silent period の出現は、動作開始時間を延長させるが、単位時間当たりの筋力上昇率を増大させる作用のあることが報告されている¹⁶⁾。このことは、動作前 silent period の出現が持続性筋収縮から急激な相動性筋収縮に移行する際の相動性筋放電の集中性を増加させる作用のあることを示唆している。

一方、三田ら¹⁰⁾は、準備姿勢時の筋緊張 (background tonus) の増加にともなって動作前 silent period 出現率が減少し、その至適条件は最大筋力の15-20%であると報告している。脇田ら¹⁸⁾は、被検者体重の0・15・30%の荷重負荷を付加した条件下における脚伸展筋群の動作前 silent period 出現を観察し、動作前 silent period 出現率が荷重負荷の増大にともなって減少することを報告している。これらの報告は、被検者の脂肪量や最大筋力などの形態的・機能的特性による筋の background tonus の変化が、動作前 silent period 出現に影響を与える可能性のあることを示唆している。

本研究は、被検者の脂肪量や最大筋力などの形態的・機能的特性が持続性筋収縮から相動性筋収縮への切り換え時に出現する動作前 silent period や反応動作との間にどのような関係にあるかを究明することをその目的とした。

実験方法

16-18歳の健康な男子77名・女子59名・計136名を被検者とした。形態については、身長・体重・皮下脂肪厚 (上腕背部と肩甲骨下部) を測定し、皮下脂肪厚については長嶺¹³⁾の推定式による体脂肪率を算出した。脚伸展力の測定については、ワイヤーの一端を固定し、その中間に張力計を接続し、ワイヤーの他端に接続した皮革製のベルトを被検者の足関節に固定させた。被検者には、膝関節を90度に屈曲した仰臥姿勢をとらせ、最大努力による等尺性の脚伸展力を左右の両関節について発揮させた。

反応時間の測定については、force plate 上の被検者に両下肢下垂、膝関節約50度屈曲の立位準備姿勢をとらせ、被検者の前方2m、高さ1.5mの

位置に設置した光刺激 (xenon lamp) を注視するように指示した。検者の「用意」の合図の後、2-5秒後に光刺激を与え、できるだけ素早い跳躍反応動作を行わせた。測定回数は、各被検者について15試行実施させた。

筋電図は、右側の外側広筋・内側広筋および大腿二頭筋から表面双極導出法を用いて記録した。力曲線の鉛直分力については、force plate から同時に記録できるようにした。

実験結果

1. 身体特性

被検者の男女別の平均値とその標準偏差および男子に対する女子の比率を表1に示した。形態における身長平均値は、男子が169.8cm、女子が158.7cm、男子を基準とした女子の相対値が93.5%であり、男女間に1%水準で有意な差が認められた。体重の平均値は、男子が58.3kg、女子が51.4kg、男子を基準とした女子の相対値が88.2%であり、男女間に1%水準で有意な差が認められた。

身体組成における皮下脂肪厚 (上腕背部と肩甲骨下部を加えた値) の平均値は、男子が20.0mm、女子が32.0mm、男子を基準とした女子の相対値が160.0%であり、男女間に1%水準で有意な差が認められた。体脂肪率の平均値は、男子が13.6%、女子が24.7%、男子を基準とした女子の相対値が181.6%であり、男女間に1%水準で有意な差が認められた。

最大脚伸展力の平均値 (左右脚筋力の合計値) は、男子が138.1kg、女子が72.9kg、男子を基準とした女子の相対値が52.8%であり、男女間に1%水準で有意な差が認められた。体重当たりの脚伸展力の平均値は、男子が2.37、女子が1.43、男子を基準とした女子の相対値が59.1%であり、男女間に1%水準で有意な差が認められた。

内側広筋と外側広筋の動作前 silent period 出現率の平均値は、男子が31.5%と36.8%、女子ではそれぞれ26.2%と33.4%、男子を基準とした女子の相対値はそれぞれ83.2%と90.8%であり、いずれの筋においても有意な差が認められなかった。

内側広筋と外側広筋の動作前 silent period 出現潜時の平均値は、男子が104.1msec と108.6msec、女子ではそれぞれ115.0msec と117.5msec、男子を基準とした女子の相対値はそれぞれ110.6%と108.2%であり、いずれの筋において

表1 被検者の身体特性

項目	男子		女子		男子/女子 ×100	性差
	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
身長 (cm)	169.8	5.31	158.7	5.91	93.5	**
体重 (kg)	58.3	7.06	51.4	6.13	88.2	**
皮下脂肪厚 (mm)	20.0	7.77	32.0	8.54	160.0	**
体脂肪率 (%)	13.6	4.64	24.7	5.97	181.6	**
脚筋力 (kg)	138.1	27.49	72.9	17.92	52.8	**
体重当りの脚筋力	2.37	0.404	1.43	0.322	59.1	**
P.S.P. 出現率 (M. vastus medialis) (%)	31.5	23.69	26.2	22.41	83.2	n.s.
P.S.P. 出現率 (M. vastus lateralis) (%)	36.8	27.91	33.4	26.51	90.8	n.s.
P.S.P. 出現潜時 (M. vastus medialis) (ms)	104.1	21.43	115.0	25.65	110.6	*
P.S.P. 出現潜時 (M. vastus lateralis) (ms)	108.6	19.64	117.5	25.96	108.2	*
P.S.P. 持続時間 (M. vastus medialis) (ms)	46.3	17.89	43.2	16.51	93.3	n.s.
P.S.P. 持続時間 (M. vastus lateralis) (ms)	42.0	15.49	42.9	17.51	102.1	n.s.
動作時間 (ms)	188.5	25.44	199.5	25.46	105.8	*
力曲線の最大値 (kg)	85.5	24.99	62.8	18.96	73.5	**
筋力上昇率 (kg/ms)	1.67	0.528	1.23	0.447	73.7	**

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, n.s. no significant

も男女間に5%水準の有意な差が認められた。

内側広筋と外側広筋の動作前 silent period 持続時間の平均値は、男子が46.3 msec と42.0 msec、女子ではそれぞれ43.2 msec と42.9 msec であり、男子を基準とした女子の相対値はそれぞれ93.3% と102.1% であり、いずれの筋においても有意な差が認められなかった。

動作時間（反応動作時における力曲線の立ち上がりから終了までの時間）の平均値は、男子が188.5 msec、女子が199.5 msec、男子を基準とした女子の相対値は105.8% であり、男女間に5%水準で有意な差が認められた。

反応動作時における力曲線の最大値の平均値は、男子が85.5 kg、女子が62.8 kg であり、男子を基準とした女子の相対値は73.5% であり、男女間に1%水準で有意な差が認められた。

筋力上昇率（反応動作時における力曲線の立ち上がり勾配の最大値から算出）の平均値は、男子が1.67 kg/msec、女子が1.23 kg/msec であり、男子を基準とした女子の相対値は73.7% であり、男女間に1%水準で有意な差が認められた。

2. 動作前 silent period 出現率と身体特性との関係

内側広筋における動作前 silent period 出現率と皮下脂肪厚との相関係数は、男子が $r=0.1997$ 、女子が $r=-0.0494$ 、全体が $r=0.0044$ であり、いずれの被検者群においても有意な相関関係が認められなかった。また、外側広筋における相関係数については、男子が $r=0.1777$ 、女子が $r=-0.0471$ 、全体が $r=0.0256$ であり、いずれの被検者群においても有意な相関関係が認められなかった。

内側広筋における動作前 silent period 出現率と体脂肪率との相関係数は、男子が $r=0.2002$ 、女子が $r=-0.0492$ 、全体が $r=-0.0271$ であり、いずれの被検者群においても有意な相関関係が認められなかった。また、外側広筋における相関係数については、男子が $r=0.1809$ 、女子が $r=-0.0758$ 、全体が $r=-0.0060$ であり、いずれの被検者群においても有意な相関関係が認められなかった。

内側広筋における動作前 silent period 出現率と脚筋力との相関係数は、男子が $r=-0.0833$ 、女

表 2 反応動作と身体特性との相関関係

項目		皮下脂肪厚	体脂肪率	脚筋力	体重当りの脚筋力
P.S.P. 出現率 (M. vastus medialis)	M	0.1997	0.2002	-0.0833	-0.1300
	F	-0.0494	-0.0492	-0.0211	0.0535
	W	0.0044	-0.0271	0.0531	0.0499
P.S.P. 出現率 (M. vastus lateralis)	M	0.1777	0.1809	-0.0466	-0.0949
	F	-0.0471	-0.0758	0.0806	0.1238
	W	0.0256	-0.0060	0.0465	0.0396
P.S.P. 出現潜時 (M. vastus medialis)	M	0.1741	0.1699	0.0359	-0.1554
	F	-0.0370	-0.0200	-0.3167*	-0.2441
	W	0.1910*	0.2110*	-0.2364**	-0.2915**
P.S.P. 出現潜時 (M. vastus lateralis)	M	0.2123	0.2097	0.0564	-0.0725
	F	0.0419	0.0427	-0.4950**	-0.4942**
	W	0.2094*	0.2166*	-0.2470**	-0.3056**
P.S.P. 持続時間 (M. vastus medialis)	M	-0.0509	-0.0521	-0.1335	-0.0471
	F	-0.0186	-0.0606	0.0964	0.0652
	W	-0.0826	-0.1022	0.0377	0.0663
P.S.P. 持続時間 (M. vastus lateralis)	M	0.1376	0.1362	0.0186	0.0256
	F	-0.1690	-0.1860	0.0183	0.0600
	W	-0.0070	-0.0036	-0.0118	0.0027
動作時間	M	0.0169	0.0266	0.1407	0.0873
	F	0.2445	0.2654	0.0302	-0.0792
	W	0.2202*	0.2495**	-0.1111	0.1513
力曲線の最大値	M	0.1360	0.1167	0.3348**	0.1133
	F	0.2764*	0.2742*	0.3231*	0.0903
	W	-0.1330	-0.2158*	0.5371**	0.4121**
筋力上昇率	M	0.1416	0.1251	0.2324*	0.0798
	F	0.0959	0.0825	0.3006*	0.1614
	W	-0.1546	-0.2312**	0.4653**	0.3826**

M: Male, F: Female, W: Whole, ** p<0.01, * p<0.05

子が $r = -0.0211$ 、全体が $r = 0.0531$ であり、いずれの被検者群においても有意な相関関係が認められなかった。また、外側広筋における相関係数については、男子が $r = -0.0466$ 、女子が $r = 0.0806$ 、全体が $r = 0.0465$ であり、いずれの被検者群においても有意な相関関係が認められなかった。

内側広筋における動作前 silent period 出現率と体重当たりの脚筋力との相関係数は、男子が $r = -0.1300$ 、女子が $r = 0.0535$ 、全体が $r = 0.0499$ であり、いずれの被検者群においても有意な相関関係が認められなかった。また、外側広筋における相関係数については、男子が $r = -0.0949$ 、女

子が $r = 0.1238$ 、全体が $r = 0.0396$ であり、いずれの被検者群においても有意な相関関係が認められなかった。

3. 動作前 silent period 出現率と反応動作との関係

内側広筋における動作前 silent period 出現率と筋力上昇率との相関係数は、男子が $r = 0.2600$ 、女子が $r = 0.2687$ 、全体が $r = 0.2843$ であり、男子の被検者群に 5% 水準、全体の被検者群に 1% 水準で有意な相関関係が認められた。また、外側広筋における相関係数については、男子が $r = 0.1630$ 、女子が $r = 0.3864$ 、全体が $r = 0.2507$

表 3 動作前 silent period 出現率と反応動作との相関関係

項目		筋力上昇率	力曲線の最大値	動作時間
P.S.P. 出現率 (M. vastus medialis)	M	0.2600*	0.3215**	-0.0300
	F	0.2687	0.2808*	0.1415
	W	0.2843**	0.3215**	0.0708
P.S.P. 出現率 (M. vastus lateralis)	M	0.1630	0.2932*	0.0561
	F	0.3864**	0.3299*	0.0431
	W	0.2507**	0.2993**	0.0364

M: Male, F: Female, W: Whole, ** p<0.01, * p<0.05

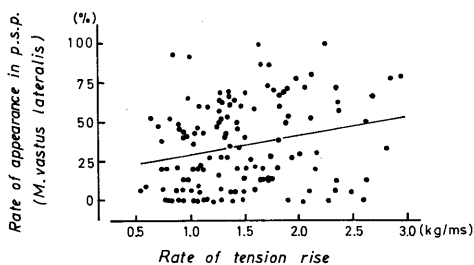


図 1. 筋力上昇率からみた p.s.p. 出現率の関係

(図 1) であり、女子と全体の被検者群にそれぞれ 1%水準で有意な相関関係が認められた。

内側広筋における動作前 silent period 出現率と力曲線の最大値との相関係数は、男子が $r=0.3215$ 、女子が $r=0.2808$ 、全体が $r=0.3215$ であり、男子と全体の被検者群にそれぞれ 1%水準、女子の被検者群に 5%水準の有意な相関関係が認められた。また、外側広筋における相関係数については、男子が $r=0.2932$ 、女子が $r=0.3299$ 、全体が $r=0.2993$ (図 2) であり、男子と女子の被検者群にそれぞれ 5%水準、全体の被検者群に 1%水準の有意な相関関係が認められた。

内側広筋における動作前 silent period 出現率と

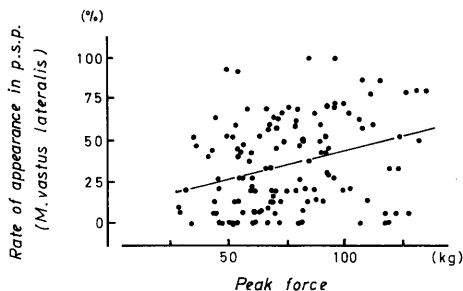


図 2. 力曲線の最大値からみた p.s.p. 出現率の関係

動作時間との相関係数は、男子が $r=-0.0300$ 、女子が $r=0.1415$ 、全体が $r=0.0708$ であり、いずれの被検者群においても有意な相関関係が認められなかった。また、外側広筋における相関係数については、男子が $r=0.0561$ 、女子が $r=0.0431$ 、全体が $r=0.0364$ であり、いずれの被検者群においても有意な相関関係が認められなかった。

4. 動作前 silent period 出現潜時と身体特性との関係

内側広筋における動作前 silent period 出現潜時と皮下脂肪厚との相関係数は、男子が $r=0.1741$ 、女子が $r=-0.0370$ 、全体が $r=0.1910$ であり、全体の被検者群において 5%水準の有意な相関関係が認められた。また、外側広筋における相関係数については、男子が $r=0.2123$ 、女子が $r=0.0419$ 、全体が $r=0.2094$ (図 3) であり、全体の被検者群に 5%水準の有意な相関関係が認められた。

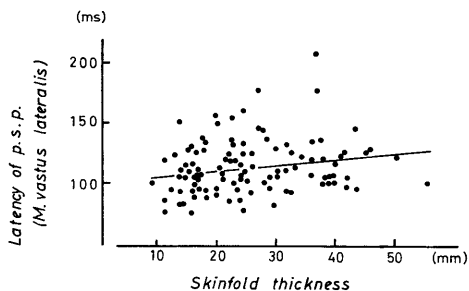


図 3. 皮下脂肪厚からみた p.s.p. 出現潜時の関係

内側広筋における動作前 silent period 出現潜時と体脂肪率との相関係数は、男子が $r=0.1699$ 、女子が $r=-0.0200$ 、全体が $r=0.2110$ であり、全体の被検者群において 5%水準の有意な相関関係

係が認められた。また、外側広筋における相関係数については、男子が $r=0.2097$ 、女子が $r=0.0427$ 、全体が $r=0.2166$ (図4) であり、全体の被検者群においては5%水準で有意な相関関係が認められた。

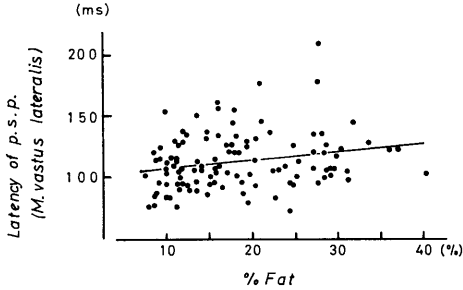


図4. 体脂肪率からみた p.s.p. 出現潜時の関係

内側広筋における動作前 silent period 出現潜時と脚筋力との相関係数は、男子が $r=0.0359$ 、女子が $r=-0.3167$ 、全体が $r=-0.2364$ であり、女子と全体の被検者群にそれぞれ5%と1%水準で有意な相関関係が認められた。また、外側広筋における相関係数については、男子が $r=0.0564$ 、女子が $r=-0.4950$ 、全体が $r=-0.2470$ (図5) であり、女子と全体の被検者群にそれぞれ1%水準で有意な相関関係が認められた。

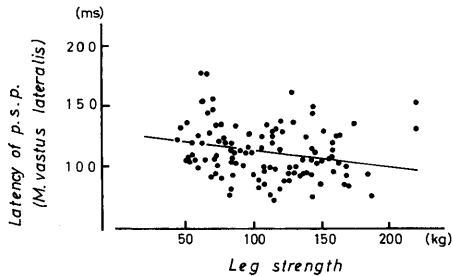


図5. 脚筋力からみた p.s.p. 出現潜時の関係

内側広筋における動作前 silent period 出現潜時と体重当たりの脚筋力との相関係数は、男子が $r=-0.1554$ 、女子が $r=-0.2441$ 、全体が $r=-0.2915$ であり、全体の被検者群に1%水準で有意な相関関係が認められた。また、外側広筋における相関係数については、男子が $r=-0.0725$ 、女子が $r=-0.4942$ 、全体が $r=-0.3056$ (図6) であり、女子と全体の被検者群にそれぞれ1%水準で有意な相関関係が認められた。

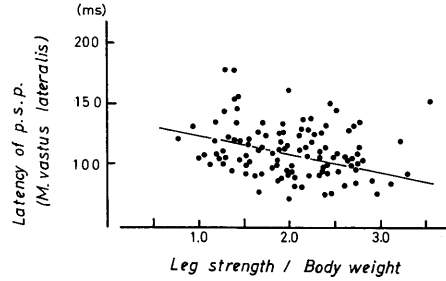


図6. 体重当りの脚筋力からみた p.s.p. 出現潜時の関係

5. 動作前 silent period 持続時間と身体特性との関係

内側広筋における動作前 silent period 持続時間と皮下脂肪厚との相関係数は、男子が $r=-0.0509$ 、女子が $r=-0.0186$ 、全体が $r=-0.0826$ であり、いずれの被検者群においても有意な相関関係が認められなかった。また、外側広筋における相関係数については、男子が $r=0.1376$ 、女子が $r=-0.1690$ 、全体が $r=0.0070$ であり、いずれの被検者群においても有意な相関関係が認められなかった。

内側広筋における動作前 silent period 持続時間と体脂肪率との相関係数は、男子が $r=-0.0521$ 、女子が $r=-0.0606$ 、全体が $r=-0.1022$ であり、いずれの被検者群においても有意な相関関係が認められなかった。また、外側広筋における相関係数については、男子が $r=0.1362$ 、女子が $r=-0.1860$ 、全体が $r=-0.0036$ であり、いずれの被検者群においても有意な相関関係が認められなかった。

内側広筋における動作前 silent period 持続時間と脚筋力との相関係数は、男子が $r=-0.1335$ 、女子が $r=0.0964$ 、全体が $r=0.0377$ であり、いずれの被検者群においても有意な相関関係が認められなかった。また、外側広筋における相関係数については、男子が $r=0.0186$ 、女子が $r=0.0183$ 、全体が $r=-0.0118$ であり、いずれの被検者群においても有意な相関関係が認められなかった。

内側広筋における動作前 silent period 持続時間と体重当たりの脚筋力との相関係数は、男子が $r=-0.0471$ 、女子が $r=0.0652$ 、全体が $r=0.0663$ であり、いずれの被検者群においても有意な相関関係が認められなかった。また、外側広

筋における相関係数については、男子が $r=0.0256$ 、女子が $r=0.0600$ 、全体が $r=0.0027$ であり、いずれの被検者群においても有意な相関関係が認められなかった。

6. 動作時間と身体特性との関係

反応動作における動作時間と皮下脂肪厚との相関係数は、男子が $r=0.0169$ 、女子が $r=0.2445$ 、全体が $r=0.2202$ (図7) であり、全体の被検者群に5%水準の有意な相関関係が認められた。動作時間と体脂肪率との相関係数については、男子が $r=0.0266$ 、女子が $r=0.2654$ 、全体が $r=0.2495$ (図8) であり、全体の被検者群に1%水準の有意な相関関係が認められた。

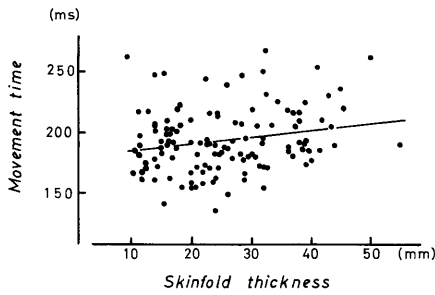


図7. 皮下脂肪厚からみた動作時間の関係

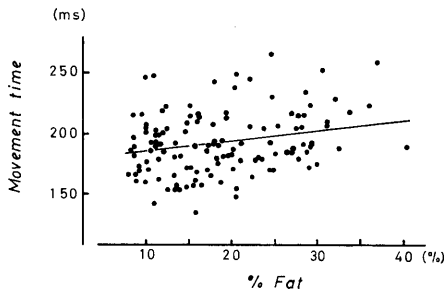


図8. 体脂肪率からみた動作時間の関係

動作時間と脚筋力との相関係数は、男子が $r=0.1407$ 、女子が $r=0.0302$ 、全体が $r=-0.1111$ であり、いずれの被検者群においても有意な相関関係が認められなかった。動作時間と体重当たりの脚筋力との相関係数については、男子が $r=0.0873$ 、女子が $r=-0.0792$ 、全体が $r=0.1513$ であり、いずれの被検者群においても有意な相関関係が認められなかった。

7. 力曲線の最大値と身体特性との関係

反応動作における力曲線の最大値と皮下脂肪厚との相関係数は、男子が $r=0.1360$ 、女子が $r=0.2764$ 、全体が $r=-0.1330$ であり、女子の被検者群に5%水準の有意な相関関係が認められた。力曲線の最大値と体脂肪率との相関係数については、男子が $r=0.1167$ 、女子が $r=0.2742$ 、全体が $r=-0.2158$ (図9) であり、女子と全体の被検者群にそれぞれ5%水準の有意な相関関係が認められた。

力曲線の最大値と脚筋力との相関係数は、男子が $r=0.3348$ 、女子が $r=0.3231$ 、全体が $r=0.5371$ (図10) であり、男子と全体の被検者群に

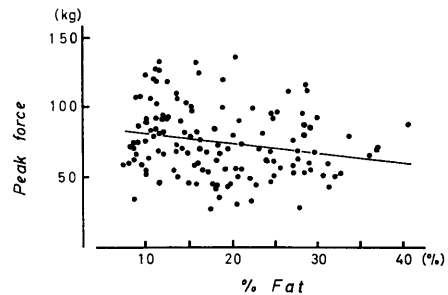


図9. 体脂肪率からみた力曲線最大値の関係

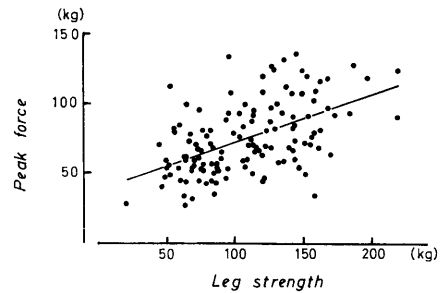


図10. 脚筋力からみた力曲線最大値の関係

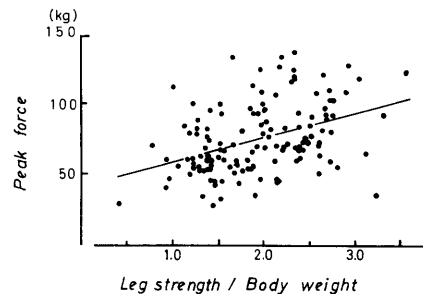


図11. 体重当たりの脚筋力からみた力曲線最大値の関係

それぞれ1%水準、女子の被検者群に5%水準で有意な相関関係が認められた。力曲線の最大値と体重当たりの脚筋力との相関係数については、男子が $r=0.1133$ 、女子が $r=0.0903$ 、全体が $r=0.4121$ (図11) であり、全体の被検者群に1%水準で有意な相関関係が認められた。

8. 筋力上昇率と身体特性との関係

反応動作における筋力上昇率と皮下脂肪厚との相関係数は、男子が $r=0.1416$ 、女子が $r=0.0959$ 、全体が $r=-0.1546$ であり、いずれの被検者群においても有意な相関関係が認められなかった。筋力上昇率と体脂肪率との相関係数については、男子が $r=0.1251$ 、女子が $r=0.0825$ 、全体が $r=-0.2312$ (図12) であり、全体の被検者群に1%水準で有意な相関関係が認められた。

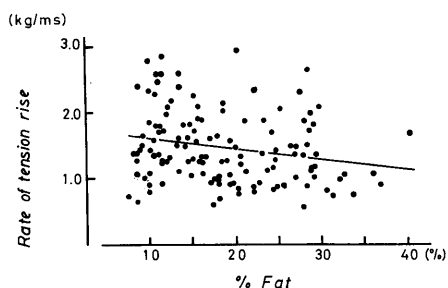


図12. 体脂肪率からみた筋力上昇率の関係

筋力上昇率と脚筋力との相関係数は、男子が $r=0.2324$ 、女子が $r=0.3006$ 、全体が $r=0.4653$ (図13) であり、男子と女子の被検者群が5%水準、全体の被検者群が1%水準で有意な相関関係が認められた。筋力上昇率と体重当たりの脚筋力との相関係数については、男子が $r=0.0798$ 、女子が $r=0.1614$ 、全体が $r=0.3826$ (図14) であり、全体の被検者群に1%水準で有意な相関関係が認められた。

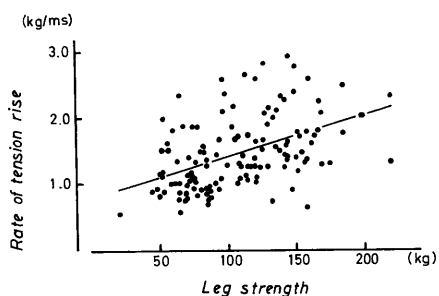


図13. 脚筋力からみた筋力上昇率の関係

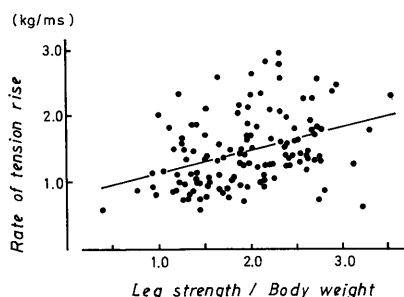


図14. 体重当りの脚筋力からみた筋力上昇率の関係

論議

体力に関しては、これまでに数多くの報告があり、男女間の比較についても色々な観点から比較・検討されている。形態についてみると、女性の身長は、男性の90%であるが、身長に対する上肢長・下肢長の相対的比率には男女差のないことが明らかにされている²¹⁾。また、機能面については、最大筋力は女性が男性の50-60%であるが、単位断面積当たりの筋力は性に関係なく一定であると報告されている²¹⁾。さらに、神経系の指標である全身反応時間は高校2年生頃から女性が遅延する傾向のあることが指摘されているが、体重を用いない単純反応時間については性差のないことが報告されている²¹⁾。本研究における各測定項目は、これまでに報告されている男女間の相対的比率とはほぼ一致した結果を得た。

意図する動作を合目的に遂行するためには、末梢からのフィードバックを含めた運動制御機構を巧みに作動させ、中枢神経系からの促進性あるいは抑制性インパルスによって、筋の緊張と弛緩を自由にコントロールしなければならない。Gatev²²⁾ は、乳幼児の上肢屈伸動作を対象として、筋緊張の抑制が発育にともなって、①主動筋活動時における拮抗筋の同時抑制、②主動筋活動に先行する拮抗筋抑制、③主動筋活動に先行する主動筋抑制の順序に出現頻度が増加することを報告している。本研究は、動作前 silent period を指標として、被検者の身体特性がこのような運動制御機構にどのような影響を持つのかを比較・検討することをその目的とした。

これまでに報告されている動作前 silent period の出現率は、乳幼児の上肢屈伸動作を対象とした場合に約10%²²⁾、健康成人の肘関節伸展動作にお

ける右腕に14%・左腕に18%である²⁰⁾。また、健康成人の運動経験年数別に比較した出現率では、右肘関節伸展動作時の非運動部所属者群に12%・短期運動部所属者群に25%・長期運動部所属者群に36%、左肘関節伸展動作では、それぞれ16%・26%・31%であり、運動部所属年数の長期化にともなって増加することが報告されている¹⁴⁾。また、下肢に関する動作前 silent period は、一般に上肢に比較して高い出現率を示し、川初⁷⁾ は、大腿直筋が36.8%・外側広筋が67.0%・内側広筋が58.8%であり、脇田¹⁵⁾ らはそれぞれ28.2%・57.6%・46.5%であると報告している。本実験における動作前 silent period の出現率は、男子の外側広筋が36.8%・内側広筋が31.5%、女子ではそれぞれ33.4%と26.2%であり、先の報告よりやや少ない出現率を示した。

一方、動作前 silent period の発現については、2条件を満たすことが必要とされている。第1は、動作前 silent period の発現が大脳皮質前頭葉・小脳・脳幹抑制領域からの遠心性インパルスの関与が考えられていることから、上位の中枢神経系に関与する問題である。第2は、末梢神経系に起因するものである。これに関して三田ら¹⁰⁾ は、準備姿勢時の筋緊張 (background tonus) の増加にともなって動作前 silent period 出現率が減少し、その至適条件は最大筋力の15-20%であると報告している。また、脇田ら¹⁸⁾ は、被検者体重の0、15、30%の荷重負荷を付加した条件下における跳躍反応動作を用いた動作前 silent period 出現について観察し、動作前 silent period 出現率が荷重負荷の増大にともなって減少することを報告し、三田¹⁰⁾ らの報告を支持する結果を得た。これらの報告から、脂肪量が多く体重に比して脚筋力の小さい被検者では、準備姿勢時の background tonus が増大し、動作前 silent period 出現率が減少する可能性のあることが推定される。しかしながら、本研究では、動作前 silent period 出現率と皮下脂肪厚・体脂肪率・脚筋力・体重あたりの脚筋力との間にはいずれも有意な相関関係が認められなかった。この点に関しては、本実験の被検者が何れもほぼ正常な範囲であり、脇田ら¹⁸⁾ の報告のように一過性に体重の15%・30%を付加したような大きな負荷になり得ていなかったことによるものと考えられる。

筋力発揮に関する動作前 silent period の役割は、筋力上昇率を高めることに貢献することが指摘さ

れている¹⁶⁾。この筋力増強効果機構について、青木ら¹⁾ は、動作前 silent period にともなう脱力が筋を伸張し、弾性エネルギーが利用されるためであると考察している。本実験における動作前 silent period 出現率と反応動作時の筋力上昇率や力曲線の最大値との間には有意な相関関係が認められた。このことは、動作前 silent period 出現が、脂肪量や静的筋力に依存するものではなく、反応動作時の筋力上昇率や力曲線の最大値などの動的筋力に依存することを示唆するものと言えよう。

動作前 silent period の出現潜時については、肘関節伸展動作の場合、猪飼⁵⁾ はその最頻値が100 msec であるとし、脇田ら¹⁷⁾ は、筋収縮速度を高める条件が117 msec・動作開始時間を短縮する条件が100 msec であると報告している。また、脚伸展動作時の出現潜時は約120 msec であると報告されている¹⁵⁾。本実験の動作前 silent period 出現潜時平均値は、104 msec から118 msec であり、これまでの報告と類似した値を示した。北川たち⁹⁾ は、跳躍反応動作と肥満の関係について検討を加え、肥満者の反応時間は、非肥満者と比較して刺激から筋放電開始までのEMG 反応時間が長くなる傾向を示すが、両者に有意な差が認められないことから神経系機能に差のないことを結論づけている。しかし、本研究の動作前 silent period の出現潜時は全被検者を対象とした場合に皮下脂肪厚・体脂肪率との間に有意な正の相関関係が認められ、脚伸展力・体重当たりの脚筋力との間に有意な負の相関関係がみとめられた。このことは、体脂肪が多くなるに従ってその出現潜時が遅延し、脚筋力が増大するにともなって出現潜時が短縮することを示唆している。しかし、北川ら⁹⁾ の報告との相違については、被検者対象が異なっていることおよびEMG の計測方法の違いなどが考えられる。

動作前 silent period の持続時間については、肘関節伸展動作で約18-42 msec⁶⁾ ¹⁷⁾、脚伸展動作で80-100 msec⁵⁾ ¹⁹⁾、一流女子選手で10-40 msec⁷⁾ であり、比較的身体的なトレーニングを行っている人でおよそ40 msec であると報告されている¹⁵⁾。本実験における動作前 silent period の持続時間の平均値は約42 msec から46 msec であり、これまでの報告とほぼ一致した結果を得た。本研究では動作前 silent period 持続時間と皮下脂肪厚・体脂肪率・脚筋力・体重あたりの脚筋力との間にはいずれも有意な相関関係が認められな

かった。このことは、持続性筋放電から相動性筋放電に移行する神経系の切り換え機構が脂肪量や筋力などの身体特性には影響のない、主に神経系が関与する問題であると推察される。

北川たち⁹⁾は、力曲線から分析した動作時間が肥満者で188 msec、非肥満者で163 msecであり、両者の間に有意な差が認められることから肥満者の全身反応時間の遅延は動作時間に関係があることを指摘している。本研究の動作時間については、男子が188.5 msec、女子が199.5 msecであり、先の報告とほぼ一致した値を示した。また、本研究の動作時間は皮下脂肪厚・体脂肪率との間に有意な正の相関関係が認められ、北川らの報告⁹⁾と一致した結果を得た。このことから、肥満者の反応時間の遅延は、体脂肪が単なる物理的負荷として作用し、動作時間が延長することによるものと考えられる。

反応動作における力曲線の最大値についての報告は、これまでに見受けられていない。本研究の力曲線の最大値は、男子で85.5 kg、女子で62.8 kgであり、最大筋力に対する力曲線の最大値の比率は、それぞれ61.9%と86.1%である。また、体重に対する割合は、それぞれ146.7%、122.2%である。このことから、男子の反応動作では、女子に比較して、最大筋力に対しては少なく、体重に対しては高い比率の筋力を発揮しており、男子が女子に比較して余裕のある動作をしているといえる。

反応動作の力曲線の最大値と筋力上昇率は、体脂肪率との間に有意な負の相関関係が認められ、脚筋力と体重当たりの脚筋力との間に有意な正の相関関係が認められた。このことから、反応動作においては、体脂肪率が増加するにつれて、力曲線の最大値と筋力上昇率が低下し、脚筋力が増加するにしたがって、力曲線の最大値と筋力上昇率が増大すると言えよう。

以上の結果から、体脂肪量の増大は、動作前 silent period 出現潜時と動作時間の延長および力曲線の最大値と筋力上昇率の低下をまねき、脚筋力の増大は、動作時間の短縮および力曲線の最大値と筋力上昇率の増加作用のあることが示唆された。さらに、動作前 silent period の出現率は、反応動作時における筋力上昇率と力曲線の最大値が大きい被検者ほど高くなり、静的な筋力よりむしろ動的筋力が関与することが明らかにされた。

要 約

本研究は、16-18歳の健康な男子77名・女子59名を対象として、光刺激に対して垂直方向へ跳躍する反応動作を用い、持続性筋収縮から相動性筋収縮への切り換え時に出現する動作前 silent period と被検者の身体特性との間にどのような関係にあるかを究明することをその目的とし、次のような結果を得た。

- 1) 反応動作における動作前 silent period の出現率・出現潜時・持続時間は、男女間に有意な差が認められなかった。しかし、動作時間では、男子が女子に比較して有意に短縮し、力曲線の最大値と筋力上昇率では、男子が女子に比較して有意に大きい値を示した。
- 2) 動作前 silent period 出現率と皮下脂肪厚・体脂肪率・脚伸展力・体重当たりの脚伸展力との間に有意な相関関係は認められなかったが、反応動作時における筋力上昇率と力曲線の最大値との間には有意な正の相関関係が認められた。
- 3) 動作前 silent period 出現潜時と皮下脂肪厚・体脂肪率との間に有意な正の相関関係が認められ、脚伸展力と体重当たりの脚伸展力との間に有意な負の相関関係が認められた。
- 4) 動作前 silent period の持続時間と皮下脂肪厚・体脂肪率・脚伸展力・体重当たりの脚伸展力との間に有意な相関関係は認められなかった。
- 5) 動作時間と皮下脂肪厚・体脂肪率との間に有意な正の相関関係が認められた。
- 6) 力曲線の最大値と体脂肪率との間に有意な負の相関関係が認められ、脚伸展力・体重当たりの脚伸展力との間には有意な正の相関関係が認められた。
- 7) 筋力上昇率と体脂肪率との間に有意な負の相関関係が認められ、脚伸展力・体重当たりの脚伸展力との間には有意な正の相関関係が認められた。

以上の結果から、体脂肪量の増大は、動作前 silent period 出現潜時と動作時間の延長および力曲線の最大値と筋力上昇率の低下をまねき、脚筋力の増大は、動作時間の短縮および力曲線の最大値と筋力上昇率の増加作用のあることが示唆された。さらに、動作前 silent period の出現率は、反応動作時における筋力上昇率と力曲線の最大値が大きい被検者ほど高くなり、静的な筋力よりむしろ動的筋力が関与することが明らかにされた。

引用・参考文献

- 1) 青木 久・三田勝巳・塚原玲子・矢部京之助 「動的筋力発揮に与える動作前筋放電休止期の影響」 星川 保・豊島進太郎 (編)、走跳投打泳運動における“よい動き”とは、第7回日本バイオメカニクス大会論集、235-239、1984.
- 2) Gatev, V. “Role of inhibition in the development of motor co-ordination in early childhood,” *Develop. Med. Child Neurol.*, 14: 336-341, 1972.
- 3) 半場道子・永田 晟・室 増男 「咀嚼筋放電の quiet period 出現と筋電図周波数分析 (FFT) について」 *日本生理誌*, 44: 253-264, 1982.
- 4) 猪飼道夫 「動作に先行する抑制機構」 *日本生理誌*, 17: 292-298, 1955.
- 5) 猪飼道夫・矢部京之助・山本高志・川初清典・渡辺和彦・手塚政孝 「随意動作に先行する silent period の発現機構」 *体育学研究*, 18: 127-133, 1974.
- 6) 笠井達哉・館山 昭 「動作開始前 silent period の出現頻度とその持続時間に与える練習の影響」 *体育の科学*, 30: 745-749, 1980.
- 7) 川初清典、身体運動における巧みさの科学、初版、杏林書院、1982、Pp. 128、1982.
- 8) Kawahatu, K. and Miyashita, M., “Electromyogram pre-movement silent period and tension development in human muscle,” *Exp. Neurol.*, 82: 287-302, 1983.
- 9) 北川 薫・磨井祥夫・宮下充正 「跳躍反応動作にみる肥満の影響」 *体育の科学*, 30: 741-743, 1980.
- 10) 三田勝巳・青木 久・矢部京之助 「随意動作に先行する silent period の出現と静的準備状態との関係」 *医用電子と生体工学*, 16: 390-395, 1978.
- 11) 三田勝巳・青木 久・矢部京之助 「反応開始前における筋活動水準の変化」 *体力科学*, 31: 234-241, 1982.
- 12) 三田勝巳・青木 久・矢部京之助 「反応開始前における運動ニューロンの興奮水準の変化過程」 *医用電子と生体工学*, 20: 162-169, 1982.
- 13) 長嶺晋吉 「皮下脂肪厚からの肥満の判定」 *日本医師会雑誌*, 68: 919-924, 1972.
- 14) 脇田裕久・水谷四郎・東海政義・三田勝巳・青木 久・矢部京之助 「随意動作に先行する silent period の出現率について」 *体育学研究*, 24: 227-236, 1979.
- 15) 脇田裕久・水谷四郎・矢部京之助 「動作直前に出現する二様式の筋放電休止の比較—反動動作と非反動動作」 *体育学研究*, 32: 49-56, 1987.
- 16) 脇田裕久・長井健二・八木規夫・矢部京之助 「反応動作におよぼす動作前 silent period の影響」 *体育学研究*, 26: 120-128, 1981.
- 17) 脇田裕久・矢部京之助 「指示条件の違いによる動作前 silent period の出現について」 *体力科学*, 33: 192-200, 1984.
- 18) 脇田裕久・八木規夫・長井健二・東海政義・矢部京之助 「動作前 silent period の出現率について —第6報 筋収縮の切り換え機構に及ぼす荷重負荷の影響—」 *三重大学教育学部学術研究紀要 (自然科学)*, 38: 69-76, 1987.
- 19) Yabe, K., “Premovement silent period in rapid voluntary movement,” *J. Appl. Physiol.*, 41: 470-473, 1976.
- 20) 矢部京之助・村地俊二 「随意動作に先行する silent period の役割」 *日本生理誌*, 37: 91-98, 1975.
- 21) 山川 純 「女性とスポーツ」 石河利寛・松井秀治 (編)、*スポーツ医学*, 165-167, 1978.