

作業量と疲労度との関係について

I 自転車エルゴメーターによる人体骨格筋疲労について (人体の筋, 神経の興奮性の研究 第38報)

昭和34年6月8日 受付

信州大学医学部第一生理学教室 (指導: 和合卯太郎教授)

研 究 生 山 村 栄

Work and Fatigue

Fatigue of Human Skeletal Muscle caused by Bicycle-ergometer
(Studies on the Excitability of Nerve and Muscle in Man, XXXVIII)

Sakō, Yamamura

Department of Physiology, Faculty of Medicine, Shinshu University
(Direct. Prof. U. Wago)

I ま え が き

先きに和合は、人体骨格筋疲労に、「随意性疲労」と「不随意性疲労」とがあつて、これは作業に関し voluntary efforts の有無によつて、決定されるものであると述べている⁽⁴⁾⁽⁶⁾。又和合⁽¹⁾は impulse の数が同一であつても全力をあげての運動と緩慢な運動との間に生じる疲労が性質を異にしていることを述べている。

即ち全力をあげた作業の場合は伝達疲労であり、緩慢な長時間作業では収縮疲労が表はれた。

本研究では和合と同じく自転車エルゴメーターを使い、出来るだけ constant の速度で反覆踏ませて、発生する疲労を m. rectus femoris について実験したので報告する。

II 実験方法

A 測定方法

自転車エルゴメーターに 0.1kg 及 0.2kg の重りをかけて、種々の期間 (10, 15, 25 及 40分) 出来るだけ constant の速度 (約 600 m/min) で反覆踏ませた場合、m. rectus femoris に現れる興奮性の変化を、この筋相接に乃至は n. femoralis を通じて間接に刺激し和合の $0.75 \mu F V/V_r$ 法⁽²⁾⁽⁴⁾によつて測定した。

この場合、和合⁽²⁾と同様に筋直接及 n. femoral. を通じて間接に測定を、夫々「筋」及「神経」と略記する。

B 測定装置その他

測定装置及測定時必要な注意事項は和合の論文⁽⁴⁾の通りであつた。

C 疲労を起す方法

実験前被験者について注意すべき事項は、和合の報

告にある注意に従つた。

0.1kg 及 0.2kg 荷重した自転車エルゴメーターを 10 分, 15 分, 25 分及 40 分等の種々の期間, 約 (約 600 m/min) の速度で持続して反覆踏ませ、直后寝台の上に仰臥させ、従来の報告⁽³⁾の通り、全身の力を出来るだけ抜くように注意し、測定する下肢を寝台外側に出し、中間肢位 (mittelstellung) になるように下垂させた。

自転車エルゴメーターを踏む場合、上肢を使わないことは勿論、上体にも出来るだけ力の入らぬように注意し、終始 constant の速度で作業させるように充分注意した。

D 被験者

健康と看做して差支えない年令17才から20才の男子高校生を使用した。

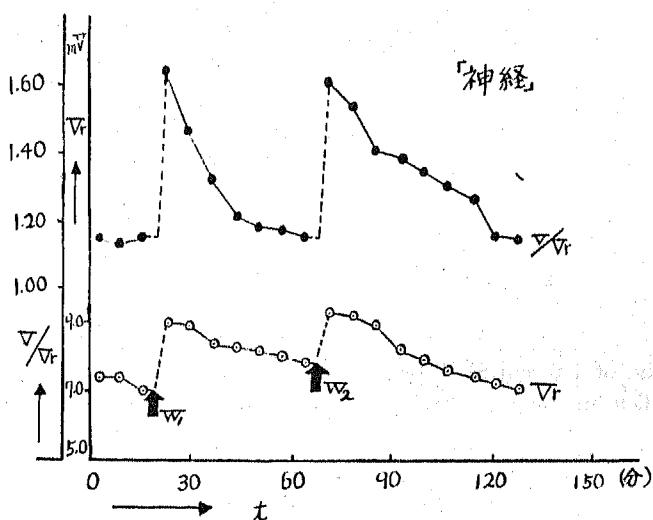
III 実験成績

A 荷重 0.1kg のとき、自転車エルゴメーターの荷重を 0.1kg とし、出来るだけ constant の速度 (約 600m/min) で、上記の4種の期間について反覆踏ませ、作業直后から m. rectus femoris の V/V_r 値を「筋」「神経」で測定した。

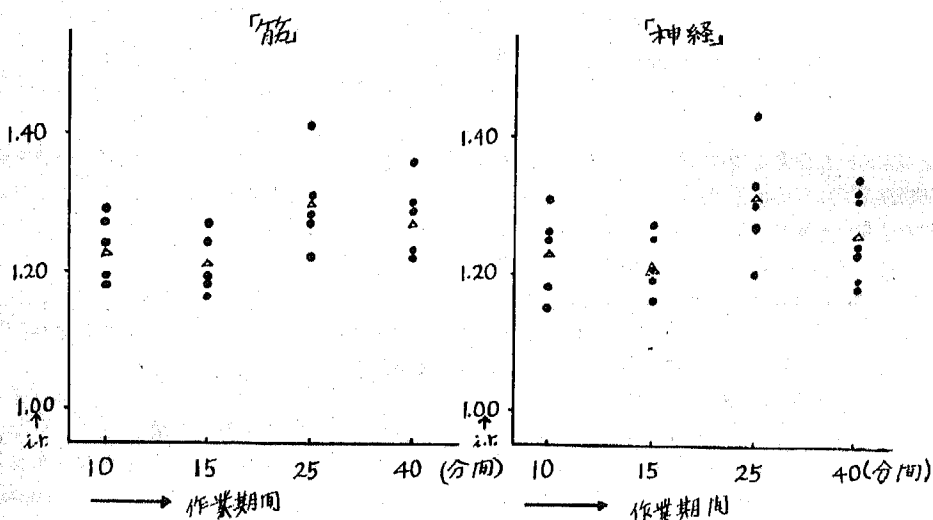
第1図に示す様に、従来の諸報告⁽³⁾⁽³⁾⁽⁴⁾と同様、作業直后 V/V_r 値は急に増大して最大値を示し、后漸次正常値に戻つた。時には2回目の測定で最高値を示すものもあつた。

数値は第1表、第2表、第3表に示した。

先づ増加率⁽³⁾について、「筋」の場合、作業期間の増大に伴つて比例的に増大することなく、10分及15分の増加率を比べると殆んど変化なく25分及40分で増加し、大多数において、25分の値が極大値であることが



第1図 自転車エルゴメーター作業による m. rectus femoris の「神経」のときの V/V_r 値の変化
 W_1 : 自転車エルゴメーター, 0.1kg, 25分
 W_2 : 全 上, 0.1kg, 40分



第2図 同一被験者について 0.1kg の荷重のときの V/V_r 値の増加率
 \triangle 印は平均値を示す

多かつた。

一方神経の場合は、上記の「筋」の場合と疲労度についても、その傾向についても、全く同様であつた。

この事実は本実験を理解するのに重要な事実と思われた。

次に Km 及 Kn^⑥について、「筋」の場合は、作業期間の違いにも拘らず全く変動せず、実験誤差の範囲内で各被験者の平均 0.77 分という値を示した。

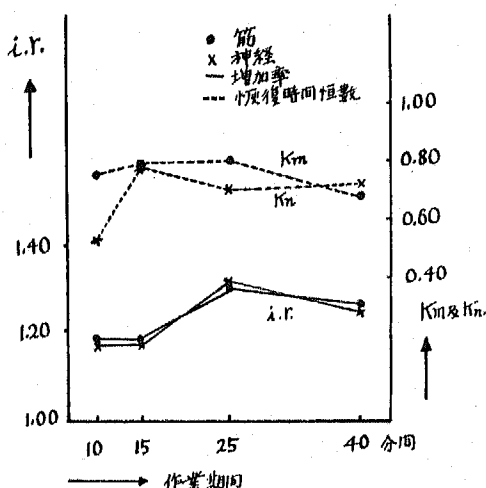
次に「神経」では、作業期間10分の場合に平均0.52

分で最低値を示し、他の各作業期間については、夫々相等しく 0.78 分 (15分), 0.70 分 (25分) 及 0.72 分 (40分) であつた。「筋」の場合と変らなかつた。

従つてこの10分間作業が本実験成績に特殊の意義をもっていることが考へられた。

次に、既に和合が報告^{③④}したように、Km から Kn を引いた値は、疲労の性質を知るのに役立つ。

この事実について、上記成績を実験誤差を考慮してみると、第4表の様であつた。



第3図 自転車エルゴメーター (荷重 0.1kg) による m. rectus femoris 疲労のときの Km, Kn 及 i. r. と各作業期間との関係

作業 期間 分	被 験 者	実験 日数	V/Vr		恢復 時間	Km
			正常値	増加率		
10	S.K. ♂	3	1.09	1.12	11分	0.90分
	N.K. ♂	6	1.10	1.22	15	0.70
	Y.A. ♂	6	1.09	1.24	15	0.65
	平均			1.19		0.75
15	S.K. ♂	3	1.09	1.14	11	0.80
	N.K. ♂	5	1.07	1.21	17	0.81
	Y.A. ♂	5	1.07	1.21	16	0.77
	平均			1.19		0.79
25	S.K. ♂	3	1.09	1.30	26	0.85
	N.K. ♂	5	1.07	1.34	25	0.75
	Y.A. ♂	5	1.07	1.30	23	0.79
	平均			1.31		0.80
40	Y.A. ♂	7	1.08	1.27	17	0.63
	S.K. ♂	3	1.09	1.31	23	0.75
	N.K. ♂	6	1.09	1.24	16	0.67
	平均			1.27		0.68

第1表 筋直接に測定した、自転車エルゴメーター (荷重 0.1kg) による、m. rectus femoris の V/Vr 値の変動

既に作業期間10分の場合についてだけ Km が Kn より大きい、他の作業期間については、Km が Kn にほぼ等しい。

B 荷重 0.2kg の場合

自転車エルゴメーターの荷重を 0.2kg とし、10分、15分、25分及40分の各期間、出来るだけ constant の

作業 期間 分	被 験 者	実験 日数	V/Vr		恢復 時間	Km
			正常値	増加率		
15	S.K. ♂	3	1.10	1.10	6分	0.54
	N.K. ♂	6	1.09	1.20	13	0.53
	Y.A. ♂	6	1.08	1.23	11	0.49
	平均			1.18		0.52
15	S.K. ♂	3	1.10	1.10	10	0.79
	Y.A. ♂	5	1.07	1.18	14	0.80
	N.K. ♂	5	1.07	1.22	17	0.76
	平均			1.18		0.78
25	S.K. ♂	3	1.09	1.29	21	0.71
	N.K. ♂	5	1.08	1.36	26	0.75
	Y.A. ♂	5	1.08	1.31	20	0.65
	平均			1.32		0.70
40	Y.A. ♂	7	1.09	1.26	18	0.72
	S.K. ♂	3	1.10	1.23	17	0.73
	N.K. ♂	7	1.09	1.25	17	0.72
	平均			1.25		0.72

第2表 n. femoralis を通じて間接に測定した、自転車エルゴメーター (荷重 0.1kg) による M. rectus femoris の V/Vr 値の変動

荷 重	作 業 期 間	Km - Kn
0.1 Kg	10 分	0.23 (Km > Kn) 分
	15	0.01 (Km = Kn)
	25	0.10 (Km = Kn)
	40	-0.04 (Km = Kn)
0.2	10	0.19 (Km > Kn)
	15	0.07 (Km = Kn)
	25	-0.01 (Km = Kn)
	40	-0.03 (Km = Kn)

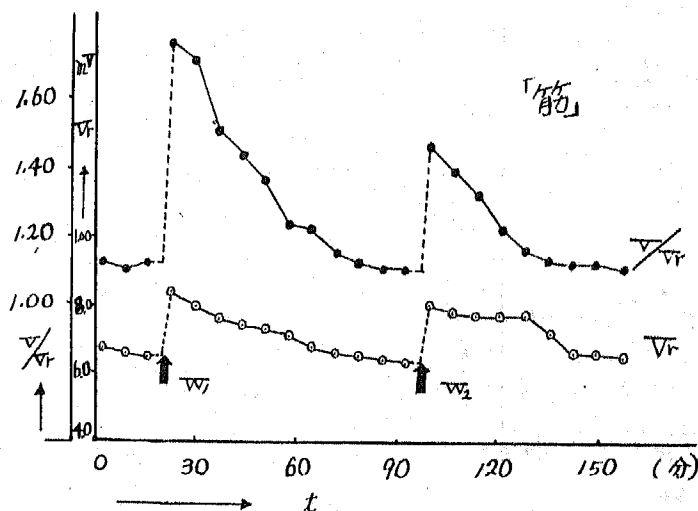
第3表 自転車エルゴメーター (荷重 0.1 kg 及 0.2 kg) による m. rectus femoris の Km と Kn との関係

速度で踏ませ、作業直后から m. rectus femoris を「筋」「神経」で V/Vr 値を測定した。

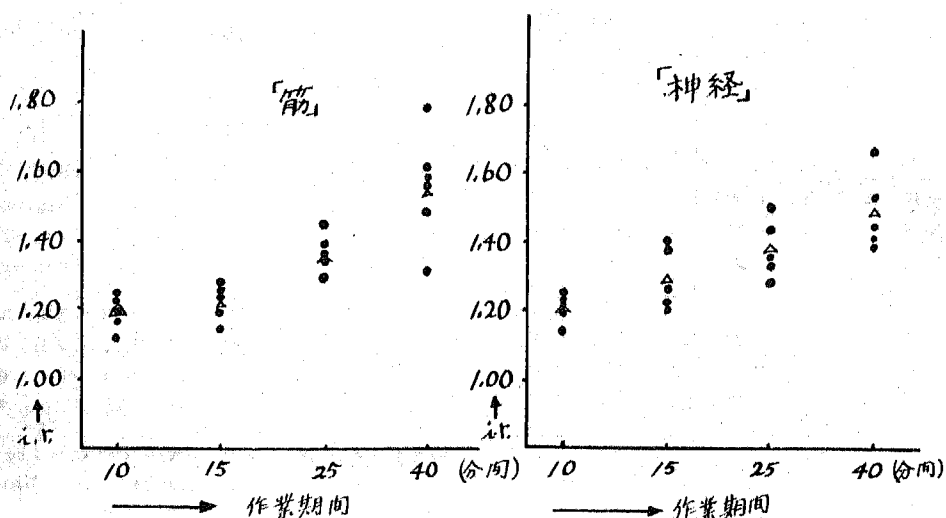
第4図に示した様に、V/Vr 値は 0.1 kg のとき同様、作業直后急に増大して最大値を示し、后漸次作業直前の値に戻った。

本実験で得られた数値は、第4表及第5表に示してある。先ず増加率については、「筋」の場合は一般に作業期間の増大に伴い大体正比例的に増大し、荷重 0.1kg の場合 (第3図参照) と著しい相違を示した。

既に作業期間を延長すれば、「筋」のときの増加率は10分間で1.17、15分間で1.35、25分間で1.43 及び



第4図 自転車エルゴメーターによる m. rectus femoris の「筋」のときの V/V_r 値の変化
 W_1 : 自転車エルゴメーター, 0.2kg, 40分
 W_2 : 全 上 0.2kg, 15分



第5図 同一被験者について 0.2kg の荷重のときの V/V_r 値の増加率
 \triangle 印は平均を示す

40分で1.59となった。

又一方「神経」のときの増加率も10分間で1.21, 15分間で1.33, 25分間で1.38, 40分間で1.51と増大し「筋」と同様の傾向を示した。

次に恢復時間については, 0.1kg 負荷のときは, 25分間作業のときが最高値であつたのに反し, 0.2kg のときは40分間作業が最高値であつた(第2表)(第4表)。

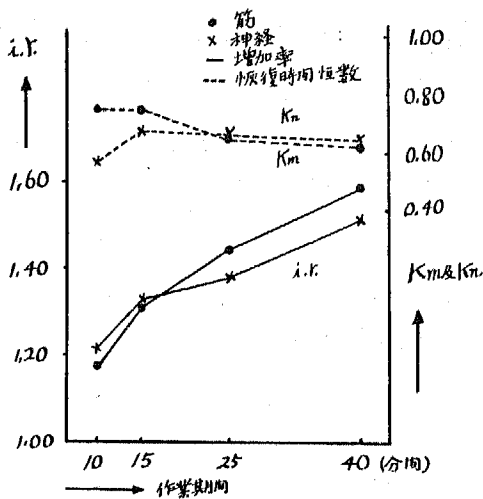
K_m 及 K_n については, K_m の場合は, 作業時間の違いにも拘わらず, 実験誤差の範囲内で全く変動せ

ず, 各被験者の平均0.69分であつた。 K_n では作業期間10分間の平均0.56分で最低値を示し, 15分間, 25分間, 40分間では K_m と同様な値であつた。

0.1kg 又 0.2kg を通じて, いずれも10分間作業では K_m が K_n より常に大きかつたが15分間以上では等しかつた。

IV 討 論

A 増加率について



第6図 自転車エルゴメーター (荷重 0.2kg) による m. rectus femoris 疲労の i. r. Km 及 Kn と各作業期間との関係

作業 期間 分	被験者	実験 回数	V/Vr		恢復 時間 分	Km
10	S.K. ♂	3	1.11	1.19	14	0.76分
	N.K. ♂	5	1.08	1.14	10	0.73
	Y.A. ♂	5	1.09	1.19	15	0.77
	平均			1.17		0.75
15	S.K. ♂	3	1.11	1.34	25	0.75
	Y.K. ♂	6	1.11	1.23	18	0.79
	N.K. ♂	6	1.10	1.35	24	0.72
	平均			1.31		0.75
25	S.K. ♂	3	1.10	1.53	31	0.59
	N.K. ♂	6	1.10	1.41	28	0.69
	Y.A. ♂	6	1.12	1.35	24	0.68
	平均			1.43		0.65
40	S.K. ♂	3	1.12	1.67	41	0.61
	N.K. ♂	5	1.11	1.55	33	0.61
	Y.A. ♂	6	1.13	1.56	36	0.65
	平均			1.59		0.62

第4表 「筋」で測定した自転車エルゴメーター (荷重 0.2kg) による m. rectus femoris の V/Vr 値の変動

荷重 0.1kg のとき「筋」「神経」共25分間作業で最大値を示し、他は作業期間の長短に拘らず減少の傾向を示した。10分間、15分間では、その疲労度は差異がないが、25分間で極大値となり以後減少したのは、倉田^⑥の騒音刺激のときと同様疲労過程と恢復過程とが併存した為であろう。

作業 期間 分	被験者	実験 回数	V/Vr		恢復 時間 分	Kn
10	S.K. ♂	3	1.11	1.23	11	0.47分
	N.K. ♂	5	1.08	1.18	12	0.63
	Y.A. ♂	5	1.10	1.21	12	0.58
	平均			1.21		0.56
15	S.K. ♂	3	1.11	1.27	18	0.69
	Y.A. ♂	5	1.11	1.29	20	0.69
	N.K. ♂	6	1.09	1.42	27	0.67
	平均			1.33		0.68
25	S.K. ♂	3	1.12	1.40	25	0.60
	N.K. ♂	5	1.11	1.34	23	0.69
	Y.A. ♂	5	1.12	1.38	25	0.88
	平均			1.38		0.65
40	S.K. ♂	3	1.11	1.15	36	0.67
	N.K. ♂	5	1.09	1.48	31	0.63
	Y.A. ♂	5	1.11	1.49	31	0.65
	平均			1.51		0.65

第5表 「神経」で測定した、自転車エルゴメーター (荷重 0.2kg) による m. rectus femoris の V/Vr 値の変動

一方荷重 0.2kg のときの増加率は「筋」「神経」共大体作業期間に正比例して増加した。荷重が大いため恢復過程が疲労過程に殆んど影響しなかつたためであろう。

B Km 及 Kn について

荷重が 0.1kg でも 0.2kg でも Km と Kn との間に差はなかつたが、10分間作業のときは例外であり、Km は Kn よりつねに大きかつた。この事実は10分間作業では始め、随意努力が必要であるから、随意性疲労の特徴が表はれ、15分間以上の作業では、漸次反射性のものとなるから Km が Kn にほぼ等しい^⑦。これは不随意性疲労が主となつているからである。

V 総 括

A 自転車エルゴメーターで荷重を 0.1kg 及 0.2 kg とし10分間、15分間、25分乃至40分間作業をさせ速度を約 600m/min、頻度を1分間に 40 回としたとき、m. rectus femoris に現れる疲労を、この筋直接に及び n. femoralis を通じて間接に、和合の 0.75 μ FV/Vr 法によつて測定した。

B 荷重 0.1kg の場合、作業期間と疲労度との関係は、25分間作業で最大値となつた。一方荷重 0.2 kg の場合では、疲労度と作業期間とは、大体正比例し、且つ 0.1kg のときの恢復時間恒数と同一値とな

つた。

C Km 及 Kn については、荷重が0.1kg 及 0.2 kg 何れの場合も、いずれも同一値であつたが、10分間作業の Kn は例外なく Km より小さかつた。

この作業では、作業初期には、主として「随意性疲労」があらはれ、時間が長くなれば「不随意性疲労」が大部分をしめるものと思はれる。

後記：終りに御懇篤な御指導，御校閲を賜つた和合卯太郎教授ならびに御助言下さつた高橋重丈講師に謝意を表わします。

文 献

- ①和合卯太郎：日本生理誌近日発表予定 ②和合卯太郎：信大紀要 2；17，1952 ③和合卯太郎：信大紀要 3；105，1953 ④和合卯太郎：信大紀要 4；121，1954 ⑤和合卯太郎：日本生理誌 18；12，1956 ⑥倉田吉清：信州医誌 7，589，1958 ⑦和合卯太郎：信大紀要（1954）人体の筋神経の興奮性の研究（第8報）