

人体の筋・神経の興奮性の研究

(第 8 報)

随意性並に不随意性骨格筋収縮に依る軽度疲労 の相違について

和 合 卯 太 郎*

(信州大学医学部生理学教室)

前論文(1)で $1.0 \cdot 0.5 \mu\text{FV/Vr}$ 法に依つて *m. rectus femoris* の軽度の疲労を、その筋について直接に(「筋」と略称する)、又その筋を司配する *n. femoralis* を通じて間接に(「神経」)、全経過を測定し、 V/Vr の平均増加率、恢復時間、恢復時間恒数、acetylcholine ACh の有効期間及疲労感等について報告した。

その中で最も注目すべきものの一つに、疲労の原因が、骨格筋の随意性収縮か又は不随意性のものかに依つて、両者の間に全く異つた結果を示す点が多かつたことである。そしてその結果、中枢性の疲労機序を考えなくてはならなかつた事である。

随意性及不随意性については次に述べる。

疲労を起す為の方法として三つを選んだ。

i) 被験者を寝台上に仰臥させ、全身の安静を保ちつつ、下肢を伸長して寝台外に出し、足首の辺に2.02kgの重りを懸けて、15~20秒間之を支えさせて、その側の *m. rect. fem.* の含む伸展筋群の軽度の疲労を起させた。その時その下肢以外には力を入れないように努めさせた。

重りをはずした直後から、*m. rect. fem.* の V/Vr 値の変化を、「筋」及「神経」について測定し、 V/Vr が正常値に戻るまで測定を続けた。この方法を「負荷」と略称する。

非被験側の下肢についても、同様の実験を行つたが、結果は次の「Mosso」と同じであつたから之を省略する。

ii) 寝台に仰臥したまま、被験側の中指一本又は中指、人差指の二本で、5.02kgの重りをかけた Mosso の ergograph を、15~20秒間引かせた。その部位以外の全身を安静にさせたことは前同様である。手の筋の疲労直後、*m. rect. fem.* の V/Vr 値を「筋」「神経」について測定した。これを「Mosso」と称する。

iii) 特定の被験者は *n. femoralis* を Porter 型 inductorium (刺激回数 毎秒180回) で刺激し、*m. rect. fem.* を含む *m. quadricepsus* 等の強縮をおこし、下肢を苦痛を与えることなく、受動的に持続的に伸展させることが出来た。そして刺激側の *m. rect. fem.* の V/Vr 値を前二者と同様に測定した。之を「不随意性」と略称する。

以上三方法の中、「負荷」及「Mosso」は同一結果を示したが、「不随意性」は疲労恢

* 信州大学教授

復時間, ACh の有効期間及疲労感等について, 前二者と全く異つた結果となつた。

即ち「負荷」及「Mosso」では, 同一程度の疲労にも拘らず, 「筋」の方が「神経」よりも恒に長い恢復時間を要するが, 「不随意性」では, 「筋」「神経」の間に差がなく, 測定誤差の範囲内で同一時間であつた。又 ACh は伝達疲労(2)(3)を抑制する働きがあるが, その有効期間は, 「負荷」「Mosso」共「筋」の方が「神経」よりも長いに拘らず, 「不随意性」では, 逆に「神経」の方が長かつた。

又疲労感については勿論正確には知り得ないが, 大体に於て同一程度と思われる筋収縮に対し, 「負荷」及「Mosso」ではその部に疲労感を伴うが, 「不随意性」のでは全然疲労感が無いが又は前二者に較べて藪いのが普通であつた。

扱「負荷」及「Mosso」と「不随意性」との筋収縮の間には, 種々の相違する点もあるが, 最も主要なものは随意努力 (voluntary efforts) の有無と考へて差支えないようである。

「負荷」及「Mosso」は自分の意志に依つて収縮を起すのであり, 「不随意性」は意志に依らず受動的のものである。前二者を総称して「随意性」とよぶことにした。

併し遺憾ながら「不随意性」の収縮を起すことは困難である。n. femoral を刺激して r. quadricepsus 等を強縮させると, 被験者に痛みその他の苦痛を与えることが多い。ただ一被験者 (Y. M.) のみは何の苦痛もなく, 下肢の伸展を起させることが出来たことは, 既に報告(1)した通りである。

最近他の一被験者 (Y. Mu.) についても「不随意性」が可能であつたから, 前報告の追試を試み, 又新たな事実を知ることが出来たので, ここに報告する次第である。

A 実験方法

1) 測定方法

全て前報告と同じであつたが, ただ $1.0 \cdot 0.5 \mu\text{F}$ V/Vr 法 (4) の代りに, 後半は $0.75 \mu\text{F}$ V/Vr 法を使用した。 $1.0 \mu\text{F}$ と $0.5 \mu\text{F}$ との二容量について測定することは, 理論的時値の近似値を求め得る便宜はあるが, 反面極めて速い変化には追従出来ない憾がある。従つて速い変化に対してはただ一つの容量で追求した方が, 多少正確度が落ちてても有利である。

$0.75 \mu\text{F}$ を選んだのは, 1.0 及 $0.5 \mu\text{F}$ の平均値であり, 且 V/Vr-C- 曲線のほぼ直線部分に相当するから, V/Vr の増加率 (i. r.) は, 1.0 及 $0.5 \mu\text{F}$ の夫々の V/Vr の増加率の平均 (m. i. r) (1) と大体に於て等しいと看做されるからである。

2) Indicator

M. extensor pollicis longus(4) 及 m. rect. fem. の V/Vr 測定の際, indicator は前者では拇指の endophalanx, 後者では下腿部の真直な伸展運動の最小のものを選んだ。両者の機械的な運動を選んだのは, 収縮に関与する筋線維群の如何は問わないで, 筋全体としての, 一定の張力発生を目標とした為である。従つて正しく言えば一定重量あるものの, 外部から認め得られる最小運動に必要な張力発生を indicator としたのである。

3) Vr の notation について

Vrは既報の通り基電圧 (voltage rhéobasique) のことである。但し V 測定の前後に Vr を測り、V 測定時に correspond する Vr を算出して、之を Vr corresp. とし、V の代りに V/Vr で表した。従つてこの場合 V/Vr corresp. と記すのが正しいが、記号の単純化のために、之を V/Vr と略記することにしてある。従つて Vr とは全般的に言えば基電圧のことであり、V/Vr の Vr に限つては Vr corresp. を意味する。

B 実験成績

1 随意性筋収縮に依る疲労

被験者 Y. Mu. について、他の者と同様に「負荷」及「Mosso」に依る疲労について測定した。その結果は、他被験者等と全く同じであつた (第 1 表)。

第 1 表

Recovery Time of the Fatigue by Voluntary Muscle Contraction
subj. Y. Mu. 1.0 • 0.5 μ FV/Vr法 *0.75 μ FV/Vr法

被 験 下 肢 疲 勞 (負 荷 30 sec.)									
n. femoralis					m. rectus femoris				
Ex.	r. t.	m. i. r.	Kn	note	Ex.	r. t.	m. i. r.	Km	note
112 27/VII/53	min. 14	1.41	min. 0.34	lmf	113 I 28/VII	min. 22	1.37	min. 0.61	rmf
114 II 29/VII	12	1.40	0.30	rmf	113 II 28/VII	23	1.29	0.79	rmf
116 II 31/VII	9	1.34	0.26	lmf	115 III 30/VII	22	1.27	0.82	lmf
123 I 31/VIII	16	1.44	0.36	rmf	124 I 1/K	25	1.43	0.58	lmf
123 III 31/VIII	12	1.39	0.31	rmf	124 II 1/K	24	1.35	0.69	lmf
mean	13	1.40	0.31±0.01		mean	23	1.34	0.70±0.04	
Km - Kn			0.70min. - 0.31min. = 0.39min.						
手 疲 勞 (Mosso 30 sec.)									
n. femoralis					m. rectus femoris				
Ex.	r. t.	m. i. r.	Kn	note	Ex.	r. t.	m. i. r.	Km	note
114 I 29/VII	min. 9	1.35	min. 0.26	rmf	115 I 30/VII	min. 23	1.36	min. 0.64	lmf
114 III 29/VII	16	1.51	0.31	rmf	115 III 30/VII	21	1.28	0.75	lmf
116 I 31/VII	8	1.40	0.20	lmf	117 31/VII	22	1.36	0.64	rmf
123 II 31/VIII	12	1.37	0.33	rmf	168 12/XII	*17	1.19	0.89	rmf
148 III 9/X	*9	1.37	0.24	lmf	14/II /54	*19	1.26	0.73	rmf
mean	11	1.34	0.27±0.01		mean	20	1.29	0.73±0.04	
Km - Kn			0.73min. - 0.27min. = 0.46min.						

その主な点は、「負荷」及「Mosso」共、同一程度の疲労にも拘らず、恢復時間は「筋」の方が「神経」よりも例外なく大きく、恢復時間を m. i. r. の増加分で割つたもの、即ち恢復時間恒数（「筋」では Km, 「神経」では Kn）は恒に $Km > Kn$ であつた。

Km, Kn 及 $Km - Kn$ は大体他の被験者等と同じ大きさであり、又「負荷」及「Mosso」の $Km - Kn$ は誤差の範囲内で同一と看做すべきものである。

2 不随意性筋収縮に依る疲労

同一被験者 Y. Mu. について、被験側 n. femoral. 及非被験側の同神経を、Porter 型 inductorium で 20 sec. 刺激して、m. quadricepsus 等の強縮、即ち下腿の真直な伸展を起し、その為の疲労が m. rect. fem. の V/V_r に如何なる変化を与えるかを験べた（第 2 表）。

第 2 表

Recovery Time of the Fatigue by Involuntary Muscle Contraction

subj. Y. Mu. 0.75μFV/V_r法

被 験 側 神 經 刺 激 (20 sec.)									
n. femoralis					m. rectus femoris				
Ex.	i. r.	r. t.	Kn	note	Ex.	i. r.	r. t.	Km	note
125 I 2/K/53	1.39	min. 6	min. 0.15	rmf	126 2/K/53	1.46	min. 7	min. 0.13	rmf
125 II 2/K	1.44	5	0.11	rmf	127 I 3/K	1.52	9	0.17	rmf
128 I 3/K	1.37	6	0.16	rmf	127 II 3/K	1.50	7	0.14	rmf
129 I 4/K	1.38	7	0.18	lmf	130 I 8/K	1.57	9	0.16	lmf
129 II 4/K	1.52	7	0.13	lmf	130 II 8/K	1.34	6	0.18	lmf
mean	1.42	6.2	0.15±0.01		mean	1.48	7.6	0.16±0.01	
Km-Kn		0.16min. - 0.15min. ≒ 0							
非 被 験 側 神 經 刺 激 (20 sec.)									
n. femoralis					m. rectus femoris				
Ex.	i. r.	r. t.	Kn	note	Ex.	i. r.	r. t.	Km	note
133 I 9/K	1.42	min. 10	min. 0.24	lmf	132 I 9/K	1.31	min. 6	min. 0.19	lmf
134 I 10/K	1.36	7	0.19	lmf	132 II 9/K	1.40	7	0.18	lmf
134 II 10/K	1.44	7	0.16	lmf	135 I 10/K	1.30	6	0.20	lmf
136 I 11/K	1.40	6	0.15	rmf	135 II 10/K	1.36	8	0.22	lmf
140 I 15/K	1.51	7	0.14	rmf	139 12/K	1.45	6	0.13	rmf
					141 I 16/K	1.37	6	0.16	rmf
mean	1.43	7.4	0.18±0.01		mean	1.37	6.5	0.18±0.01	
Km-Kn		0.18min. - 0.18min. ≒ 0							

その結果は何れも同程度のV/Vr値の増加が認められ、Km及Knの夫々の大きさは、被験側、非被験側神経刺激を問わず、等しい値を示した。更にKmとKnとは、「随意性」のものとは異り、同一値であつたことは、被験者Y.M.の場合と変らなかつた。

猶Y.M.の場合、前報では被験側神経刺激のみであつたから、非被験側刺激の実験を行つたところ、Y.Mu.の場合の如く、被験側と非被験側との間に相違がなかつた(第3表)。

第 3 表

Recovery Time of the Fatigue by Involuntary Muscle Contraction

subj. Y. M

1.0 • 0.5μFV/Vr法

非 被 験 側 神 經 刺 激 (30 sec.)									
n. femoralis					m. rectus femoris				
Ex.	r. t.	m. i. r.	Kn	note	Ex.	r. t.	m. i. r.	Km	note
89 II 8/IV/53	min. 14	1.38	min. 0.37	rnf	93 II 11/IV	min. 16	1.43	min. 0.37	lmf
90 II 9/IV	12	1.34	0.35	lmf	93 III 11/IV	16	1.48	0.33	lmf
91 I 9/IV	9	1.28	0.32	rnf	98 I 15/IV	9	1.30	0.30	rmf
91 II 9/IV	14	1.36	0.39	rmf	98 II 15/IV	8	1.27	0.30	rmf
94 11/IV	9	1.30	0.30	lmf	103 II 1/V	15	1.46	0.33	rmf
mean	11.6	1.33	0.35±0.01		mean	12.8	1.39	0.33±0.01	
Km ≐ Kn									
被験側神経刺激 (30 sec.)					0.38 ± 0.01 0.35 ± 0.02				
Km ≐ Kn									

被験側神経刺激の場合と、非被験側の場合に於て、神経を通じて間接に筋のV/Vrを測定するときの著しい実験条件の相違は、前者では測定前にその部位に、20~30sec.の刺激が加わっていることである。

然し乍ら両者の疲労回復時間が等しいことからみれば、刺激部位の皮膚等の変調は、この程度の刺激では起らないものと考えて差支えない。筋の直接測定の時も、被験側及非被験側の両者が等しい事実も之を証明するものであろう。「Mosso」と同様に、非刺激筋に疲労が現われるのであるから、humoral性のものであることは間違いないと思われる。

猶Y.M.と同様「不随意性」のKm及Knが「随意性」のそれよりも小さいことは注目すべきである。特にKmに於て両者の開きが大きいことは「不随意性」「随意性」の本質的相違と考えて差支えないと思われる。

3 Acetylcholine の影響について

前報告(5)に記載したように、AChの疲労抑制期間即ち有効期間は、「随意性」と「不随意性」との間に反対の結果が得られる。即ち「随意性」の場合は「筋」の方が「神経」

第 4 表

Effective Time of ACh, tested by Involuntary Muscle Contraction

subj. Y. Mu. 0.75 μ FV/Vr法

Ex.	stimulation	n.fem.	m.rect.f.	note	
140 II 15/ K	非被験側神経刺激 (20sec.)	min. 33		rmf	
141 II 16/ K			min. 26	rmf	
153 II 14/ X			22	lmf	
154 III 15/ X		35		rmf	
159 II 31/ X		33		lmf	
161 II 8/ XI		34		rmf	
163 II 29/ XI			24	lmf	
165 II 5/ XII			24	rmf	
166 I 6/ XII		32		lmf	
175 II 14/ II / 54			25	rmf	
mean			33.4	24.2	

よりも有効期間がより長く、「不随意性」の時はこの逆で「神経」の方がより長かつた。本研究で被験者Y. Mu.について非被験側神経刺激によつて同様な測定を行つたところ、Y. M.と同じく「神経」の方が、例外なく「筋」よりも長かつた(第4表)。

被験側神経刺激に依つても同様であつた。

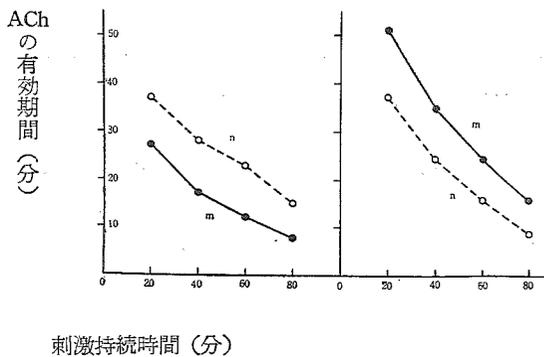
猶AChの有効期間か否か、即ち疲労発生の有無を test する刺激が、持続時間が長い程有効期間が短縮されることは予測される。「随意性」(「負荷」と「不随意性」との刺激を、20秒、40秒、60秒及80秒とした時の有効期間は、予測された通り刺激時間と逆比例した(第1図)。

第 1 図

Effective Time of ACh and Stimulating Duration

Involuntary (subj. Y. M.)
0.75 μ FV/Vr法
非被験側神経刺激

Voluntary (subj. Y. Mu.)
0.75 μ FV/Vr法
被験側下肢負荷 2.02kg



4 疲労に依るVrの低下について

実験中Vrが疲労の初期を除き、一般に低下し続けることは既に述べた。そして之には二つのphaseがあり、電導子固定直後のものは、Ringer液に依る皮膚の変調が主であり、第二のものは疲労の後遺作用(1)に依るものと既述したが、第二のものは、同一被験者の同一実験時に、「筋」、「神経」の測定を引きつづき行くと、刺激を繰り返し加

えた為に、 V_r の低下し続けることが著明に表われた。

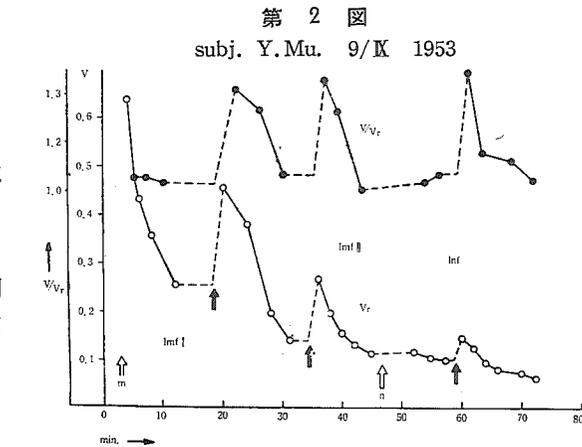
第2図はその中の一例であるが、先ず「筋」の測定を引つづき二回行い、続いて「神経」の測定を行うと（逆の順序でも同様）、測定部位を異にしても、 V_r はそのまま引き続き低下している。一部には上昇した例もあるが、僅かに2—3%であつた。之とても引続いて低下することは同様であつた。

刺激電導子を筋、神経の双方の刺激点に同時に固定しても、又一方の測定終了後新しく他の刺激点に固定しても（第2図）同様であつた。

既報(4)のように、電導子固定の直後は V_r が急激に低下するが（第一のphase）、疲労のない時は、その後一定の安定期があるのが普通であつた。

従つて上記の事実は疲労に依つて、皮膚 impedance の変化が、全身の皮膚に於て一方向に向つて進むもの（第二のphase）と考えて差支えないようである。

併し第2図のように、電導子を新しく神経に固定しても第一の phase のような急激な低下がみられないから、この点に疑問もあるが、影響が全身的のものと考えれば理解出来る。



註 ← 非被験側神経20秒間刺激

↳ 筋(m), 神経(n)の測定部位に電導子固定

5 疲 勞 感

随意性の疲労では、疲労部位に必ず軽度の疲労感を伴う。不随意性の場合には、同一程度の疲労と思われる時にも、随意性のものより疲労感は少いようである。

前報告(5)のように被験者Y.M.は、「不随意性」の時には全然疲労感のなかつたと報告したことが多かつたが、被験者Y.Mu.は「随意性」よりも、より軽度の感覚ではあつたが、全然無いとの供述はなかつた。参考迄に記載する。

文 献

- 1) 和合卯太郎：信州大学紀要，3，29，1953.
- 2) Rosenblueth, A. & R. S. Morison：Amer. J. Physiol., 119, 236, 1937.
- 3) del Pozo, E. C.：Amer. J. Physiol., 135, 763, 1942.
- 4) 和合卯太郎：信州大学紀要，2，1，1952.
- 5) 和合卯太郎：信州大学紀要，3，43，1953.

人体の筋・神経の興奮性の研究

(第 9 報)

軽度の精神性疲労について

和 合 卯 太 郎*

(信州大学医学部生理学教室)

精神性作業に依る疲労の研究は、従来数多くの学者に依つて行われて来たが、精神疲労を直接に、しかも量的に測定し得たものは皆無といつても過言でないようである。

ことに軽度の疲労は、Göpfert 及共同研究者(1)も指摘したように、平時は睡眠中と雖も中枢神経の不断の興奮があるから、その疲労が直接ある精神活動の結果であるか、又は両者の混合に依るものか判別することは困難である。仮りに混合しているとしても両者の割合等については、識別する手懸りがない。ことに軽度疲労については一層この感が深い。

著者は先に(2)軽度の骨格筋疲労の時、その筋の V/Vr 値の増加を認め、又他筋の疲労の時も、安静にしていて疲労の起らぬ筈の筋に V/Vr の増大が現われることを報告した。

又「随意性」及「不随意性」の疲労について両者に恢復時間及 ACh の有効期間等に相違がある点から考へて、随意努力の有無、即ち中枢神経系殊に大脳皮質が、之に関与していることを認めざるを得ないことを知つた。

中枢神経系の疲労を、直接測定することは困難にしても、安静骨格筋の V/Vr の増加率又は恢復時間等に依つて、間接に、測定研究することの可能性を認め、ここに本研究を開始した次第である。

この場合、仮令前述の中枢性の疲労の原因が混在していても、安静筋の V/Vr 値が夫々の被験者に一定である以上、精神作業に依つて新しく V/Vr の変化が起れば、これは直接に新たな精神作業自身に由来するものと考えて差支えないであらう。

A 実験方法

1) 精神作業

被験者を寝台上に仰臥させ、安静を保ちつつ、25分又は15分連続に暗算をさせた。暗算は二桁の掛算が最も目的に適うようである。この時手足に力を入れ、又は小声であっても、計算中声を出すことをかたく禁じた。

2) V/Vr測定法

暗算の後従来の方法と同じく、m. rectus femoris の V/Vr を「筋」及「神経」について測定した。後半は0.75 μ FV/Vr法に依つた。

* 信州大学教授

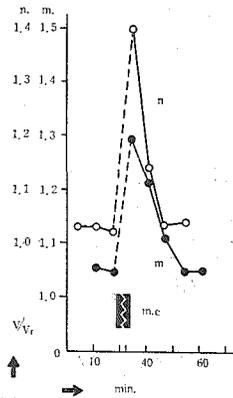
- 3) Acetylcholine の影響をみるために、暗算終了10分前にVagostigmin(prostigmine) 0.5ccを、又5分前にOvisot (ACh) 0.033gr. を皮下注射した。
- 4) その他の一切の実験方法は従前通りである。

B 実験成績

1 暗算に依るV/Vr値の変化

第1図

V/Vr Curve of Mental Fatigue
 subj. Y. Mu.
 0.75 μ F V/Vr method
 Ex. 161I (n) and Ex. 165I (m)
 m. c. mental calculation for
 15 min.



1) 疲労曲線 (V/Vrの変化曲線)

M. rect. fem. のV/Vrの増加を認め得たのは、個人差もあつたが、大体暗算連続時間10分以上であつた。しかし数量的に扱う為には、夫々の被験者について最小15分から25分を必要とした。

暗算終了直後V/Vrは増加して最高値を示した後、短時間内に正常値に戻つた(第1図)。

Vrについては全体的に低下し続けるのが常であるが、V/Vrの最高値の時、急に増加して同様に最大となる。全て筋自身の疲労実験と同一傾向を示す。

2) 回復時間、回復時間恒数

回復時間及回復時間恒数は、夫々の被験者に於て「筋」の方が「神経」よりも例外なく長い(第1表)。

これらの事実は「随意性」のもの一致する。Km-Knに就ても同様である。

Recovery Time of Mental Calculation

Mental calculation for 25 min.

1.0 • 0.5 μ F V/Vr法

subj. Y. M.

n. femoralis					m. rectus femoris				
Ex.	r. t.	m. i. r.	Kn	note	Ex.	r. t.	m. i. r.	Km	note
	min.		min.			min.		min.	
90 I	11	1.30	0.37	lnf	93 I	24	1.39	0.62	lmf
102 I	10	1.32	0.31	lnf	98 II	18	1.25	0.72	rmf
102 II	11	1.40	0.28	lnf	103 I	19	1.28	0.68	rmf
104 II	9	1.32	0.28	rmf	105 II	22	1.34	0.65	lmf
106	9	1.38	0.24	rmf	107	16	1.29	0.55	rmf
mean	10.0	1.34	0.30 \pm 0.01		mean	20.0	1.31	0.64 \pm 0.02	

Km - Kn = 0.35

第 1 表 その 1

subj. M. Y.

n. femoralis					m. rectus femoris				
Ex.	r. t.	m. i. r.	Kn	note	Ex.	r. t.	m. i. r.	Km	note
	min.		min.			min.		min.	
95 I	7	1.18	0.39	rmf	92 I	21	1.36	0.58	rmf
95 II	9	1.16	0.56	rmf	96 I	8	1.10	0.80	rmf
108 I	9	1.39	0.23	lmf	101 II	13	1.15	0.87	lmf
108 II	9	1.45	0.20	lmf	101 II	17	1.20	0.85	lmf
109	13	1.48	0.27	rmf	110	22	1.38	0.58	rmf
mean	9.4	1.33	0.33±0.05		mean	18.2	1.24	0.74±0.04	

$$Km - Kn = 0.41$$

第 1 表 その 2

subj. M. N.

n. femoralis					m. rectus femoris				
Ex.	r. t.	m. i. r.	Kn	note	Ex.	r. t.	m. i. r.	Km	note
	min.		min.			min.		min.	
97 I	13	1.49	0.27	rmf	118	32	1.37	0.87	rmf
97 II	9	1.23	0.39	rmf	119 I	25	1.33	0.76	lmf
111 I	8	1.26	0.31	lmf	119 II	27	1.31	0.87	lmf
111 II	15	1.45	0.33	lmf	120	24	1.36	0.67	rmf
121 II	11	1.36	0.29	rmf	122 II	24	1.36	0.67	lmf
mean	11.2	1.36	0.32±0.01		mean	26.4	1.35	0.77±0.03	

$$Km - Kn = 0.45$$

subj. Y. Mu.*

n. femoralis					m. rectus femoris				
Ex.	r. t.	i. r.	Kn	note	Ex.	r. t.	i. r.	Km	note
	min.		min.			min.		min.	
147	5	1.18	0.28	lmf	153 I	10	1.22	0.46	lmf
148 III	4	1.25	0.16	lmf	157 I	10	1.19	0.53	rmf
154 I	8	1.27	0.30	rmf	157 II	9	1.20	0.45	rmf
159 I	5	1.25	0.20	lmf	163 I	10	1.16	0.63	lmf
161 I	11	1.36	0.31	rmf	165 I	12	1.22	0.55	rmf
mean	6.6	1.26	0.25±0.03		mean	10.2	1.20	0.52±0.02	

$$Km - Kn = 0.27$$

* Mental calculation for 15 min.

0.75 μ F V/Vr method

2 Acetylcholineの効果について

あらかじめprostigmine 及 AChを与えて置くと暗算終了直後、安静を保っていた m. rect. fem. のV/Vrには「筋」[神経]共に、その値の変化が認められなかつた。AChの疲労抑制作用が、必ずしも筋の伝達疲労の場合のみでないことは注目を要する。

ACh に依つて V/Vr の値が不変であることを確かめた後、4分間の休息の上再度25分の暗算を繰り返すと、この時は著明な V/Vr の増加が認められた(第2表)。

第 2 表
Effect of Acetylcholine on Mental Fatigue

subj.	μ F	V/Vr		V/Vr		V/Vr
M. Y.	1.0	1.02	Mental calculation for 25 min.	1.01	Rest for 4 min. and then	1.32
Imf	0.5	1.14		1.14		1.64
M. Y.	1.0	1.03	Injection of	1.01	mental calculation for 25 min. again	1.45
Inf	0.5	1.15		1.14		1.77
Y. M.	1.0	1.02	Vagostigmin 0.5cc and	1.01		1.19
rmf	0.5	1.10		1.09		1.59
Y. M.	1.0	1.02	Ovisot 0.033gr.	1.02		1.28
Inf	0.5	1.11		1.12		1.60
M. N.	1.0	1.01		1.02		1.26
rmf	0.5	1.10		1.09		1.65
M. N.	1.0	1.02		1.01		1.35
Imf	0.5	1.08		1.08		1.51

3 考 察

1) 果して精神性疲労か

暗算中は被験者を寝台上で安静を保たせたから、この時の安静骨格筋の V/Vr の増加は、一応中枢神経性の疲労と考えられる。

しかし乍ら、古くは1926年 Allers u. Scheminsky(3)が、elektroakustisch の方法で、筋活動流の増加を報告している。1938年には Davis(4)、1942年には shaw (5)が精神的努力に依つて、及身体的作業を行うとする純粋な意欲のみに依つて、筋活動流の増強を認めている。

更に1952年 Göpfert 及 Stufler(6)は、外見上安静に見える筋も、実際は“Restaktivität”の状態にあり、特殊な精密な増幅装置(増幅度 $5 \cdot 10^6$)と新たに考案された誘導電極とを使用すれば、微弱な筋活動流を oscillogramm 上に捕えることが出来、更に1953年 Göpfert(1)とその共同研究者は、精神作業 [Kraepelin (7) 及 Oehrn (8) の Rechentest に依る] に依つて上述の筋活動流が著しく増強されることを報告している。

以上の Göpfert 等の研究は、暗算の時に手足に無意識的に力を入れることが多いのを考慮していないから、或いはこの為の神経支配の緊張増加が原因であるかも知れない。

扱 ACh を予め注射して置く時、V/Vr の変化が起らないのは、精神作業の結果、筋疲労と同様に血行中の ACh の欠乏がおこることも考えられる。

一方精神作業と筋の緊張性神経支配増加(Innervationssteigerung)とが、純粹の形で不可分であり、その増加が ACh を消費して、その欠乏を招くものか、又は無意識の間に、手足の筋が外見上は認め難い収縮をおこし、この僅少な収縮の為 ACh を消費するものかについては、大いに議論の余地があろう。10~15秒の強縮に依つて、その筋のみならず、他の安静筋の疲労をおこすことを考えれば、25分又は15分間の暗算の間に、Göpfert の主張とは異つた意味の、無意識の中に手足に力が入り、諸筋の軽度の収縮が起り、その為、筋が疲労することも充分考慮されなければならない。

Göpfert の装置に依つて得られた一種の electromyogramm が、ACh の注射に依つて如何に変化するかを看極めれば、この問題の解決に、有力な手懸りを得るのであるが、これに就ては目下研究続行中である。

2) 恢復時間

精神性疲労の結果、安静骨格筋に V/Vr の増加が起り、その恢復時間は恒に「筋」の方が「神経」よりも大きい事実は極めて興味深い。

特に Km-Kn が他の「Mosso」及「load」と大約等しいことは注目すべきである(第3表)。

第 3 表

Km-Kn

1.0・0.5 μ F V/Vr method.

*0.75 μ F V/Vr method.

subj.	Y. M.	M. Y.	M. N.	Y. Mu
mental fatigue	min. 0.35	min. 0.41	min. 0.45	min.* 0.27
「Mosso」	0.39	0.35	0.28	0.46
「load」	0.40	0.33	0.26	0.39

「Mosso」及「load」には、随意努力が為されているが、これのない「不随意性」で Km-Kn であるから、暗算という精神活動が、大脳皮質の機能の現われである以上、「随意性」と「精神性」との間に中枢に於ける何等かの共通の現象があるものと推測される。

この意味からは、精神性疲労は、純粹な中枢性のものか、又はこれが一部又は大部分を占めているように考えられる。

併し乍らこの問題の解決は容易ではなく、従来の実験結果のみからは結論を下し得ない。

文 献

- 1) Göpfert, H., A. Bernsmeier und R. Stufler : Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol., 256, 4, 1953.
- 2) 和合卯太郎 : 信州大学紀要, 3, 29, 1953.
- 3) Allers, R., u. F. Scheminsky : Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol., 212, 169, 1926.
- 4) Davis, R. : J. of Exper. Psychol., 23, 141, 1938.
- 5) Shaw, W. A. : Arch. of Psychol., 247, 1, 1940.
- 6) Göpfert, H. u. R. Stufler : Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol., 256, 2, 1952.
- 7) Kraepelin, E. : Psychol. Arb. 1, 1, 1896.
- 8) Oehrn, A. : Psychol. Arb., 1, 99, 1896.

人体の筋・神経の興奮性の研究

(第 10 報)

刺激頻度と疲労とについて

和 合 卯 太 郎*

(信州大学医学部生理学教室)

1942年 del Pozo は血行を保つたままの猫の *m. gastrocnemius-plantaris* を、間接刺激して疲労を起し、刺激頻度の相違に依つて疲労の本質も亦相違することを報告している(1)。

即ち毎秒30回以上の頻度の刺激に依つては、ACh の欠乏に依る伝達疲労がおり、20回以下では、血行ある場合は容易に疲労が起らないが、長時間刺激すれば疲労が現われる。これは伝達疲労と異り、筋の収縮能の低下に依る収縮疲労である。

恢復は伝達疲労の時は比較的急速に行われるが、後者は収縮に關与する物質の補給が必要であり、長時間を要する。

又20回と30回との中間の頻度では一部伝達疲労であると報告している。

人体に於て骨格筋を神経を通じて収縮せしめるとき、頻度と疲労との關係は如何であらうか。

猫の筋と人間のそれとは、強縮を起し得る最小限の頻度は相違するが、質的にみて人間にもこの關係ありや否やを調査した。

A 実験方法

被験者を寝台上に仰臥させ、一側の *n. femoralis* を刺激して *m. quadricepsus* 等の強縮を起させ、他側の *m. rect. fem.* について $0.75\mu\text{FV}/\text{Vr}$ 法で、「筋」「神経」の V/Vr を測定した。

従来は刺激頻度毎秒180回の Porter 型 inductorium を使用して来たが、本研究では頻度毎秒20回の Du Bois-Reymond 型 inductorium で刺激した。

時に control として Porter 型も使用した。

B 実験成績

人体の *m. quadricepsus* では20回の頻度の刺激では、完全強縮を起すことは、被験者に苦痛を与えない範囲の電流強度では不可能であつた。

180回では既報のように完全強縮は容易におこし得る。しかも電流強度をさげると前者に似た不完全強縮が起る。

両収縮がその内容が相異なることも当然推測されるが、大体20回の時の収縮程度を目標として Porter の刺激に依る対照実験を行つた(第1表)。

* 信州大学教授

第 1 表
刺激頻度と疲労との関係

毎秒20回刺激

sub. Y. Mu.

N			M		
刺激時間	刺激回数	疲労	刺激時間	刺激回数	疲労
20秒	400回	(-)			
35秒	700回	(-)	35秒	700回	(-)
3分10秒	3,800回	(-)	3分10秒	3,800回	(-)
20秒 (p)	3,600回	(+) (1.10)	20秒 (p)	3,600回	(+) (1.11)
4分	4,800回	(-)	4分	4,800回	(-)

subj. Y. M.

N			M		
刺激時間	刺激回数	疲労	刺激時間	刺激回数	疲労
5分	6,000回	(-)	5分	6,000回	(-)
20秒 (p)	3,600回	(+) (1.08)	20秒 (p)	3,600回	(+) (1.24)**
20秒 (p)	3,600回	(+) (1.08)	20秒 (p)	3,600回	(+) (1.13)***
6分	7,200回	(-)	6分	7,200回	(-)
15分	18,000回*	(-)	15分	18,000回	(-)

〔註〕 (p); (毎秒180回刺激)

*; 被験側神経刺激

, *; 説明は本文中にある。疲労欄の数字はV/Vrの増加率である。

Porterの刺激で完全強縮を起した場合は、大約15秒以上で疲労が表われることは既報の通りであるが、Porterでも、Du Bois-Reymond に依る不完全強縮と似かよつた収縮を目標とした場合は、20秒刺激で増加率は約1.10であつた。

表中**では収縮が稍強過ぎたので、弱めて測定すると***となつた。

20回刺激では、被験者の堪えられるだけの時間、即ちY. Mu. で4分間、Y. M. で15分間収縮を持続させたが、V/Vr増加は認められなかつた。

神経に加わる impulse の数から云えば、Porter 20秒で3,600回であるが、Du Bois-Reymod は $1/9$ の頻度に過ぎないから、もし疲労の有無が impulse の数に何等かの関係ありとすれば、刺激持続時間だけでは比較とならない。しかし Du Bois-Reymond 4分及15分は夫々4,800回及18,000回となるから、之でも猶疲労の現われぬ事実からすればこの範囲内では impulse の数は問題とならない。

人体骨格筋に於ても、del Pozo の猫と同様毎秒180回で起る疲労は伝達疲労であることは明かである。20回では容易に疲労が起らないが、若し長時間刺激持続が出来て疲労が現われれば、之は恐らく収縮疲労と看做して差支えないであろう。

文 献

- 1) del Pozo, E. C. : Amer. J. of Physiol., 135, 763, 1942.

C 総 括 (第 8・9・10報)

1) 著者はさきに, m. rectus femoris の軽度疲労に就て, 直接 (「筋」) 及間接 (「神経」) に, その全経過を測定し, 疲労回復時間, acetylcholine ACh の疲労抑制作用及その有効期間等に就て報告した。

2) これ等の実験成績の中最も注目すべきものの一つに, 疲労の原因が「随意性」か「不随意性」かに依つて, 全く異つた結果を示し, 随意努力の有無が, 換言すれば中枢神経系特に大脳皮質の作用の有無が, 疲労機序に關与するものと推測されることである。

しかし乍ら「不随意性」, 即ち n. femoralis を刺激して, 所屬筋の強縮を起させることは, 被験者に苦痛を与えその為, 実験不可能のものが多かつた。

新たに実験可能の被験者を得て測定を行い, 前報告の成績を確認し, 又新しい事実を知ることが出来た。

測定方法は前半は $1.0 \cdot 0.5 \mu\text{FV/Vr}$ 法, 後半は $0.75 \mu\text{FV/Vr}$ 法を使用した。

3) この被験者の「随意性」, 即ち「負荷」及「Mosso」に依る疲労に就ては, 他の被験者と全て同一の結果が得られた。

4) 新旧被験者の不随意性疲労の成績は, 被験側神経を刺激しても, 非被験側神経刺激の時も, 換言すれば疲労が測定筋に生じていても, 非測定筋に起つても結果には差異がなく何れも「筋」「神経」共に同一結果を示した。

5) 「不随意性」の疲労回復時間は, 「随意性」のものと異り, 「筋」「神経」共全く等しい値であつた。

6) 被験側神経刺激に依つて起る疲労が, ACh のために, 一定期間抑制されることは既報の通りである。非被験側刺激の場合も前同様抑制された。そしてその有効期間は「随意性」のものとは逆に, 「筋」よりも「神経」の方が長いことが明かとなつた。

7) ACh の有効期間を定める為, 時々一定時間持続の刺激を与えて, 疲労の起るか否かを験べたが, 持続時間の大小に依つて, 有効期間は変化し, test の刺激持続時間を大にすれば, これに逆比例して, 有効時間は短くなつた。

8) 上述の諸実験から又既報の成績とも合せ考えて, 之等の疲労の原因は humoral のものであり, 血行中の ACh 欠乏であることは間違いないようである。

9) 短時間の精神作業によつて疲労がおこるや否やを, 間接に安静筋の V/Vr の変化を測定して調査した。被験者を寝台上に仰臥させ, 全身の安静を保ちつつ, 15分間又は25分間の暗算を行わせると, 疲労していない筈の m. rect. fem. にも V/Vr の増加, 即ち疲労現象が現われた。

あらかじめ prostigmine 及 ACh の小量を与えて置くと, この場合もある期間疲労の発生を制止することが出来た。

10) 暗算に依る疲労の回復時間は, 「筋」の方が「神経」よりも恒に長い。「随意性」

疲労の回復時間の、「筋」[「神経」]間の差異と同一である。

11) 暗算に依つて、間接に骨格筋に疲労の起る原因は、筋疲労と同様、暗算という精神作業によつても、血行中の ACh の欠乏を招来するのか、又は暗算中無意識の中に、手足に力が入り、軽度の収縮を起す為なのか、更に Göpfert の主張のように、筋緊張性神経司配上昇の為であるか、今の処断定出来ない。

12) 本研究に於ては、従来疲労をおこす為に毎秒180回の刺激を使用して来たが、毎秒20回の刺激を加えてみると、被験者が堪え得る持続時間では、 V/V_r の増加が起らない。従来方法では、持続時間15秒位から伝達疲労が現われるに反し、20回では15分間でも何の変化もない。

この時 impulse の数は、五倍となるにも拘らず、疲労が起らないのは、疲労と頻度とは関係があるが、加えられた impulse の数とは無関係であることが明かである。

後記 本研究は昭和27年12月から昭和29年3月に亘つて、信州大学医学部生理学教室で行つたものである。

猶研究費用の一部は昭和28年度文部省科学研究費に依つた。

正誤 本研究第6報(信州大学紀要3, 43, 1953)中の ACh: 0.033mg 及 0.075mg は、夫々 0.033g 及 0.075g の誤りにつき訂正する。

Summary

**STUDIES ON THE EXCITABILITY OF NERVE AND
MUSCLE IN MAN****THE 8TH REPORT : THE DIFFERENCE BETWEEN
VOLUNTARY AND INVOLUNTARY SKELETAL
MUSCLE FATIGUES****THE 9TH REPORT : ON THE MENTAL FATIGUE****THE 10TH REPORT : FATIGUE CAUSED BY IN-
DIRECT TETANIC STIMULATION AT DIFFERENT
FREQUENCIES**

Utaro WAGO*

(Department of Physiology, Faculty of Medicine)

1) The investigations of light fatigue in m. rectus femoris were described in the former reports ; measuring the whole course of the fatigue directly ("muscle") and indirectly ("nerve"), the recovery time, the influence of acetylcholine ACh and its effective time were studied.

2) One of the important results was the fact that between voluntary and involuntary fatigues, there were entirely different characters; in other words; the presense of voluntary efforts changed the properties of fatigue.

Central fatigue must be taken therefore in consideration.

Involuntary maximal contraction, to the author's regret, could not be caused in every human subject because of pain except one.

Recently in another subject, the same investigations were able to execute, the former results were confirmed again; and moreover several new facts were found in involuntary fatigue.

In these present investigations both $1.0 \cdot 0.5 \mu F$ V/Vr and $0.75 \mu F$ V/Vr method were employed.

3) In this subject voluntary fatigue, "load" and "Mosso", gave the same results as in all others.

4) On the involuntary fatigue in these two subjects, by indirect stimulations at each side, the coincident results were obtained at a definite m. rect. fem..

5) Recovery times of involuntary fatigue, contrary to these of voluntary, were equall in both "nerve" and "muscle".

* Professor of Shinshu University.

6) Involuntary fatigue of the measured muscle was inhibited by ACh as already reported.

The same results were also obtained in the involuntary fatigue of the non-measured muscle.

And in the effective time of ACh on the involuntary fatigue, "nerve" was, contrary to the voluntary, longer than "muscle".

7) In order to decide the effective time, stimulations of a definite duration were at intervals given to see whether fatigue appeared or not.

The longer the duration, the shorter the effective time.

8) From above mentioned results, in addition to those already reported, it is confirmed that the cause of light fatigue is humoral and the deficiency of ACh in the blood.

9) Does mental excitation evoke fatigue in unfatigued muscle indirectly?

At a subject on a bed on its back quietly, mental calculation for 15 or 25 minutes was carried out.

Then V/V_r were measured in unfatigued m. rect. fem..

V/V_r increased and soon decreased to a normal value.

When small dosis of prostigmine and ACh had been injected, no fatigue was caused by the calculation for a certain time.

10) In the recovery time of the mental fatigue, "muscle" was always, similar to the voluntary fatigue, longer than "nerve".

11) The reasons why V/V_r increases in unfatigued muscle indirectly through the mental calculation, are yet unknown. But the following 3 kinds of interpretations are considerable: i) in the mental calculation, the excitation of cerebral cells bring directly upon the deficiency of ACh; ii) skeletal muscles contract slightly unconsciously in the calculation; iii) the increase of muscle innervation in the mental work (Göpfert).

12) The results of indirect tetanic stimulation at different frequencies were investigated.

The fatigue had been caused hitherto by frequency of stimulation 180 per sec..

In these present experiments, frequency of 20 per sec. were employed, and could not evoke fatigue even at the stimulation for 15 minutes.

Concerning impulses, the number of impulses was greater at 20 per sec. than at 180 per sec., and therefore was no relation with fatigue.