

低周直角脈波刺激による人体骨格筋興奮性の変化

第1報: 周波数と疲労との関係

(人体の筋・神経の興奮性の研究 第20報)

昭和34年1月5日受付

信州大学医学部第一生理学教室 (主任: 和合卯太郎教授)

研究生 岸 茂

Excitability of Human Skeletal Muscle by Stimulation with Low Frequency Pulses

Part 1: Relationship between Frequency and Fatigue caused (Studies on the Excitabilities of Nerve and Muscle in Man, XX)

Shigeru Kishi

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

I 緒 言

Del Pozo は血行のある猫の *m. gastrocnemius-plantaris* を, *n. ischiadicus* を通じて間接に持続刺激し, 筋収縮曲線から, 骨格筋疲労は持続時間のみならず, 頻度によつて相違し, contraction fatigue, transmission fatigue 及び両者の混合したものが区別出来, これは疲労部位の相違によることを報告した^②。

和合^{④⑤⑥}は毎秒180回 (Portev 型 Inductorium), 20回 (Du-Bois Reymond 型 Inductorium) 及び3~ (Augospel)^⑦の刺激で人体について *m. rectus femoris* を筋直接及び *n. femoralis* を通じて間接に持続刺激して, acetylcholine, Ach の微量で完全に抑制し得る疲労と, 抑制出来ない前者と全く性質の相違した疲労とがあることを報告した。又疲労と刺激頻度とは関係はあるが, 加えられる impulse の数とは無関係であつたと述べた^{⑧⑨}。

本実験では, 種々の刺激頻度で被験側及び非被験側の *n. femoral.* 及び *m. rect. fem.* を刺激して, 疲労を起し, そのときの疲労について詳細の実験をした。即ち種々の頻度で刺激して, そのときの疲労について夫々 Ach の効果を調べ, 更に contraction fatigue を一部抑制する glucuronic acid, gl. acid^{⑩⑪⑫⑬⑭}の効果について実験した。

II 実験方法

A 測定方法

人体について被験側及び非被験側の *n. femoral.* 及び *m. rect. fem.* に種々低周直角脈波電流を10分間持続刺激し, 被験側の *m. rect. fem.* を直接に (「筋」)

又は *n. femoral.* を通じて間接に (「神経」) この筋に現れる興奮性の変化を 0.75 μ F V/Vr 法^③に依つて測定した。

B 測定装置及び其の他

測定装置及び測定のと き必要な注意事項等は和合^③④の報告と全く同様であつた。

C 疲労を起す方法

疲労を起すために平和電子研究所製の Augospel を使い, 3~, 50~, 120~, 250~, 500~及び1250~の各種低周直角脈波刺激を使つて, 測定する側の下肢 (被験側疲労) 及び測定しない反対側下肢 (非被験側疲労) の *n. femoral.* 又は *m. red. fem.* に10分間持続刺激し, 測定した *m. rect. fem.* に現れる疲労を調べた。従つて実験条件の組合せは多く, 実験成績説明上の便利から第1表に示した記号を使つた。

疲労刺激のための電極には, 測定用直径約3cmの銀板に Ringer 液を浸した濾紙10枚をあて, 和合^③等と全く同様刺激点^⑥に固定した。不閃電極^③は測定用のものを兼用した。

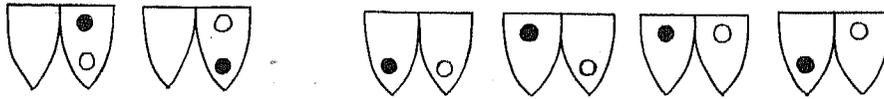
D 疲労抑制剤

疲労刺激終了前 Ach 及び gl. acid を皮下注射し, 疲労刺激終了直后から V/Vr 値を測定してこれ等薬物の疲労抑制効果を見た。

Ach は塩野義製薬株式会社製の Ovisot を使い, 13~10 \times 10⁻⁷g/g (体重) の割合で疲労刺激終了5分前に上腕外側皮下に注射したが, このとき予め疲労刺激直前に prostigmine 0.5cc を上腕外側皮下に注射した。これは第一製薬株式会社製の Vagostigmin を使つた。又 gl. acid は中外製薬株式会社製の Guronsan

被験側疲労

非被験側疲労



図は大腿前面の模型

○は測定部位 ; ●は疲労刺激部位
 上位は n. femoralis ; 下位は m. rectus femoris

第1表 実験条件を示す記号

を使い、200mg^④を疲労刺激直前に大腿外側皮下に注射した。

E 被験者

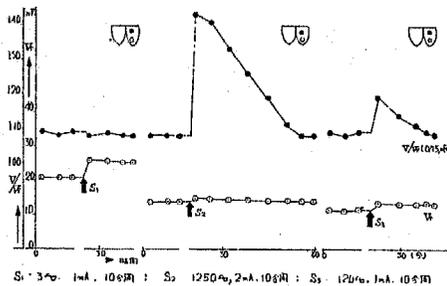
17才から18才までの健康な男子高校生5名を使い、実験に当つては開始前少くとも1時間休息させ、2時間は飲食物をとらぬよう注意した。

III 実験成績

A 被験側疲労

3~, 50~, 120~, 250~, 500~及び1250~の低周直角脈波電流を1.5mAで10分間被験側の n. femoral. 又は m. rect. fem. を持続的に刺激し(疲労刺激), その側の筋直接乃至は n. femoral. を通じて間接に夫々 m. rect. fem. の興奮性の変化を測定した。

V/Vr は疲労直后3~, 「筋」の場合は不変であつたが, 以外の全実験では夫々増大して, 最大値を示し漸次正常値に戻つた。この場合 V/Vr の増加率, i. r.^④と恢復時間^④との間に比例関係があつた。従つて, 恢復時間恒数, Km 及び Kn^④を夫々算出々来た。その1例を第1図に示した。



第1図 人体骨格筋疲労と疲労刺激の周波数との関係-「被験側疲労」

Vr は, 大多数の実験で疲労刺激后増大したが, 量的時間的に不規則な経過を示し, 一定しなかつたことは従来の諸報告通りであつた^{④⑥}。

実測値は第2表に示した。周波数と i. r. との関係

は比例しなかつたが, 120~ 刺激による疲労までは比例的に増大し, より大きな周波数では殆んど不変であつた。和合^⑦は人体骨格筋について, 3~で持続刺激したとき, 被験側筋直接刺激のときだけ, 比較的短時間の疲労刺激にも拘らず, 「筋」, 「神経」共疲労が発生したことを報告しているが, これと同様な成績が見られた。第3図は非被験側疲労についての実験成績であるが, 本実験成績と全く同様であつたので参照のこと。この関係及び実測値は「筋」及び「神経」何れについても一致した。

次に周波数と Km 及び Kn との関係について, 3~ から120~ 刺激までの疲労では周波数の増大に伴つて減少し, より周波数が増大しても殆んど増減を示さなかつた。これは上記 i. r. の結果の丁度逆で, 「筋」及び「神経」の何れについてもその傾向及数値の点でよく一致した。

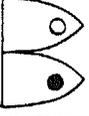
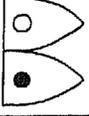
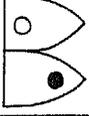
Km と Kn との差^{④⑥⑧}に関しては, 3~ 疲労刺激を除いて, 他の全ての周波数について Km=Kn の関係が見られ, 和合^⑥の「不随意性疲労」であつた。

B 非被験側疲労

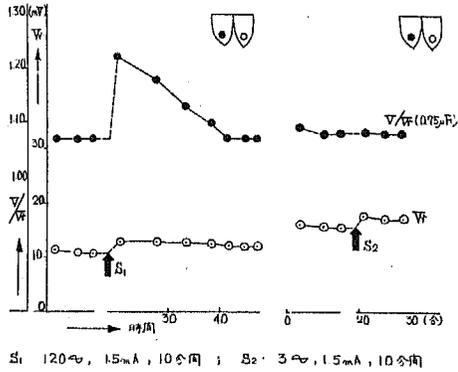
3~, 50~, 120~, 250~, 500~及び1250~夫々の頻度で, 非被験側下肢の n. femoral. 又は m. rect. fem. を10分間持続刺激して疲労をおこし, 被験側の「筋」又は「神経」について夫々測定した(第2表)。

第2図に示した様に, V/Vr 値は, 3~ 刺激のときは全例について変化がなかつたが, これ以外の周波数では, 疲労直后増大して最大値を示し, その後漸次正常値に戻つた。A 項の成績と同様 i. r. と恢復時間との間に比例関係があり, 各刺激頻度に個有と思われる Km 及 Kn を算出できた。

i. r. と各周波数との関係は3~ では V/Vr の増加はなく, 50~ では増加するが, 120~ 以上の頻度刺激では夫々一定値を示した。このとき実測値及び全体の傾向は, 周波数の相違にも拘らず実験誤差範囲で全て一致した。

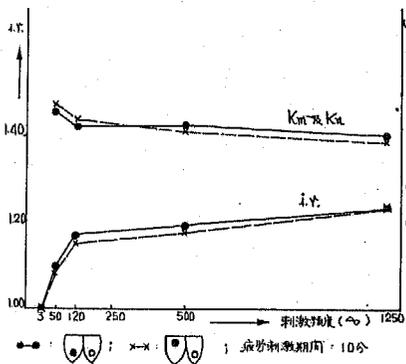
	3 ~			50 ~			120 ~			250 ~			500 ~			1250 ~			
	正常値	増加率	恢復時間 分	正常値	増加率	恢復時間 分	正常値	増加率	恢復時間 分	正常値	増加率	恢復時間 分	正常値	増加率	恢復時間 分	正常値	増加率	恢復時間 分	
 被験側  疲労側	1.08	1.06	18	1.08	1.09	17	1.07	1.17	23	1.08	1.15	24	1.08	1.20	24	1.08	1.16	20	1.1± 0.03
	1.08	(1.03)	-	1.08	1.09	20	1.08	1.15	23	1.08	1.15	19	1.08	1.23	27	1.07	1.20	22	1.1± 0.06
 非被験側  非疲労側  非疲労側  非疲労側	1.08	(1.00)	-	1.08	1.09	17	1.07	1.17	22	-	-	-	1.08	1.19	27	1.08	1.24	26	1.1± 0.06
	1.08	(1.00)	-	1.08	1.08	16	1.08	1.15	22	-	-	-	1.08	1.18	23	1.08	1.24	25	1.0± 0.06
	1.08	(1.00)	-	1.08	1.07	16	1.08	1.12	18	-	-	-	1.08	1.19	21	1.08	1.22	20	0.91± 0.02
	1.08	(1.01)	-	1.08	1.09	16	1.08	1.15	20	-	-	-	1.08	1.20	22	1.08	1.24	23	0.94± 0.03

第 2 表 人体骨格筋疲労と疲労刺激の周波数との関係
疲労刺激 (1.5mA, 10分間持続)

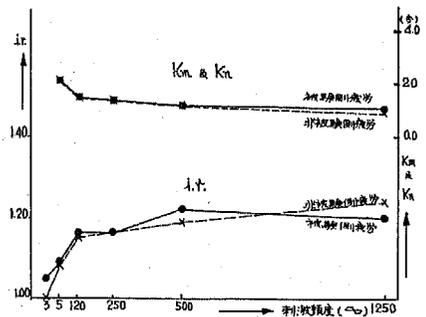


第2図 人体骨格筋疲労と疲労刺激の周波数との関係-「非被験側疲労」

Km 及び Kn については、第3図の様に、50~疲労刺激のみ他の場合に比較して大きな値を示したが、Km 及び Kn はやや低下した。この傾向は他の全ての周波数について一致し、且つ3~激による疲労を除いて、実測値及び全体の傾向は項と全く一致した。



第3図 人体骨格筋疲労と疲労刺激の周波数との関係-「非被験側疲労」



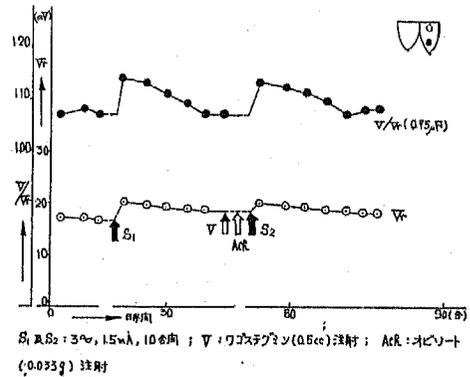
第4図 人体骨格筋疲労と疲労刺激の周波数との関係-「被験側疲労」と「非被験側疲労」との相違

Km と Kn との関係は第2表のように被験側疲労と同様、全てに於いて Km 及び Kn が等しく、和合^④の「不随意性疲労」に一致した。

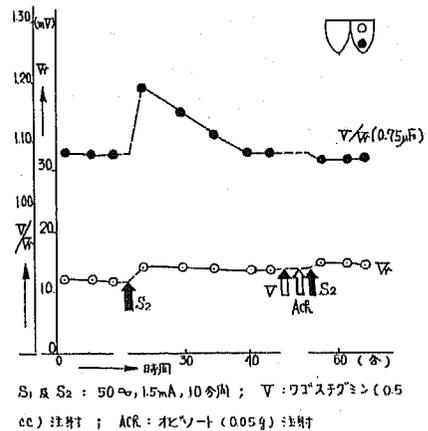
次に実測値から見た「被験側疲労」及び「非被験側疲労」の相違は、上記の成績から明白なように、i. r., Km 及び Kn 夫々の測定値、各周波数の増大に伴う夫々の一般的傾向も全て一致した(第4図)。

C Ach の効果

上記「被験側」及び「非被験側疲労」測定の際に、予め疲労刺激開始直前に Vagostigmin 0.5cc を皮下注射し、疲労刺激終了5分前に Ach の微量 ($10 \sim 13 \times 10^{-7} \text{g/g}$ (体重)) を皮下注射して、その疲労抑制作



第5図 人体骨格筋疲労に対する Ach の効果-其の一



第6図 人体骨格筋疲労に対する Ach の効果-其の二

周波数	実験条件	実験番号	正常値	増加率	恢復時間	Km及Kn	Ach濃度 10 ⁻⁷ g/g (体重)	対照	
								増加率	Km及Kn
3~		546	1.08	1.06	21	3.5	13	1.07	3.0
		547	1.08	(1.04)	(12)	(3.0)	13	1.05	2.8
		548	1.08	1.07	21	3.0	13	1.07	2.8
50~		133	1.08	1.00	-	-	10	1.08	2.0
		139	1.08	1.99	-	-	10	1.10	1.8
		144	1.08	1.00	-	-	10	1.10	1.8
		156	1.08	1.00	-	-	10	1.09	1.7
		130	1.08	1.01	-	-	10	1.07	2.4
		137	1.08	1.02	-	-	10	1.11	2.2
		148	1.07	1.00	-	-	10	1.11	1.6
		152	1.09	1.01	-	-	10	1.11	2.0
		181	1.08	1.02	-	-	10	1.08	2.0
		195	1.08	1.01	-	-	10	1.08	1.8
		210	1.08	1.01	-	-	10	-	-
		214	1.08	1.01	-	-	10	-	-
		231	1.08	1.02	-	-	10	1.13	1.7
		189	1.08	1.01	-	-	10	1.10	2.0
		202	1.08	1.00	-	-	10	1.08	1.9
226		1.08	1.01	-	-	10	1.10	1.7	
	185	1.08	1.00	-	-	10	1.08	2.0	
	199	1.08	1.01	-	-	10	1.08	2.1	
	222	1.08	1.00	-	-	10	1.07	2.0	
	192	1.08	1.00	-	-	10	1.10	1.8	
	206	1.08	1.02	-	-	10	1.09	1.8	
	218	1.08	1.02	-	-	10	1.06	1.8	

第3表 人体骨格筋疲労に対する Ach の効果
疲労刺激 (1.2~1.5mA, 10分間持続)

用をみた。この場合3~及び50~刺激の疲労についてのみその効果を験べた。

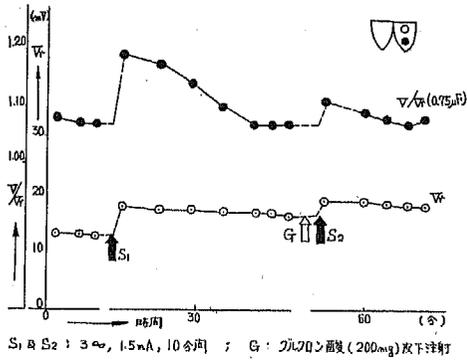
第5図、第6図及び第3表に示したように、Achを注射しないときは明かに疲労刺激後 V/Vr が増大した。一方 Ach を注射したときは、3~刺激で、被験側疲労「神経」測定では無効であつたが、50~刺激のときは、疲労刺激後全く V/Vr 値の変動がみられず、疲労が完全に抑制された。

この「被験側疲労」3~, 「神経」のときは、i. r. はA項の成績と殆んど違ひなく、Kmについても誤差範囲で一致したので、この疲労に対し Ach は殆んど無効であることが判つた。

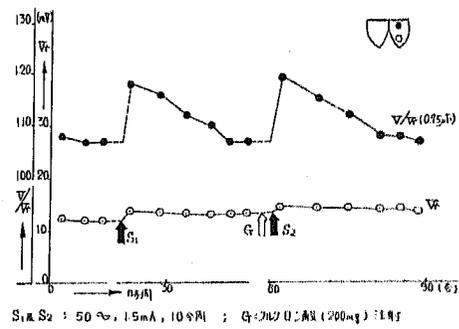
D Glucuronic acid の効果

「被験側疲労」及び「非被験側疲労」について、疲労刺激直前に大腿外侧皮下に gl. acid 200mg を注射し、通電直后から V/Vr 値を測定した。なほ3~と50~の2種の疲労刺激の場合についてのみ実験した。

第7図及び第8図に示した様に、V/Vr 値は、「被験側疲労」3~刺激の場合のみ、刺激直后多少の増加を示したのみで、疲労は相当に抑制されたが、一方50~刺激では、各種実験条件の全てについて、又 Kn についても殆んど対照に比して変動を示さなかつた(第4表)。



第 7 図 人体骨格筋疲労に対する Glucuronic acid の効果-其の一



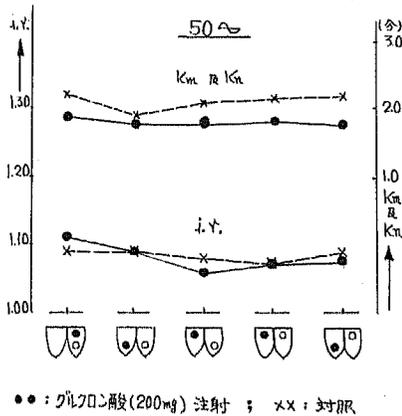
第 8 図 人体骨格筋疲労に対する Glucuronic acid の効果-其の二

周波数	実験条件	実験番号	正常値	増加率	恢復時間	Km及Kn	gl. acid 濃度 10 ⁻⁶ g/g (体重)	対 照	
								増加率	Km及Kn
3~		140	1.07	(1.01)	-	-	4	1.06	2.5
		143	1.07	(1.04)	-	-	4	1.11	2.0
		155	1.08	(1.03)	-	-	4	1.08	2.7
		541	1.08	(1.00)	-	-	4	1.06	3.0
		542	1.08	(1.03)	-	-	4	1.08	2.7
		543	1.08	(1.02)	-	-	4	1.07	3.0
		544	1.07	(1.04)	-	-	4	1.07	3.2
		545	1.08	(1.04)	-	-	4	1.08	3.0
50~		180	1.08	1.07	12	1.7	4	1.09	1.9
		194	1.08	1.08	14	1.8	4	1.09	1.8
		209	1.07	1.08	16	2.0	4	1.09	1.8
		213	1.08	1.07	14	2.0	4	1.07	2.1
		229	1.08	1.13	20	1.7	4	1.13	1.7
		188	1.08	1.10	20	2.0	4	1.08	2.0
		201	1.08	1.08	15	1.9	4	1.08	1.8
		204	1.07	1.07	17	1.7	4	1.08	2.1
		184	1.08	1.08	16	2.0	4	1.09	1.9
		198	1.08	1.06	9	1.5	4	1.08	2.0
		221	1.08	1.07	14	2.0	4	1.09	1.9
		191	1.08	1.10	18	1.8	4	1.10	2.0
		205	1.08	1.09	16	1.8	4	1.09	1.8
		217	1.08	1.06	11	1.8	4	1.07	1.9

第 4 表 人体骨格筋疲労に対する Glucuronic acid の効果 疲労刺激 (1.2~1.5mA, 10分間持續)

即ち50 \sim 刺激以上の低周直角脈波刺激による疲労は、「被験側」、「非被験側疲労」の別を問わず、gl. acid で殆んど抑制出来なかつた。

次に Km 及び Kn について、第9図に於いて、無処置の実験と比較して Km 及び Kn は一般に減少し、i. r. については、上記の様に殆んど影響がなかつた。



第9図 人体骨格筋疲労に対する Glucuronic acid の効果—其の三

IV 討 論

A 3 \sim 刺激について

del Pozo^①は血行のある猫の m. gastrocnemius-plantaris を間接に刺激し、毎秒20回の頻度刺激では contraction fatigue が発生することを、筋収縮曲線から証明し、これは恐らく骨格筋自体の化学的、物理的变化によるものと述べた。

これより6年前、Rosenblueth 等^②は間接刺激で骨格筋疲労をおこしたとき、運動神経の nerve impulses が比較的低頻度で神経末端に達するとき、Ach はによつて抑制されない、恐らく筋自体の化学的産物及びエネルギー源の消耗が起ると報告した。

松原^③は、人体で毎秒1回の頻度で Mosso の ergograph で重り905gを10分間反復ひかせ、m. extensor pollicis longus の興奮性を測定したとき、Ach は疲労抑制作用を殆んど示さない contraction fatigue の発生したことを報告した。

本実験で、低周直角脈波3 \sim の刺激で、種々の条件で(第1表)疲労刺激を夫々10分間持続したが、刺激終了後殆んどの場合に V/Vr 値の増大が見られず、たゞ「被験側疲労」で「神経」測定の際のみ増大がみられた。この疲労は Ach (13×10^{-7} g/g(体重))で殆んど抑制出来なかつた。これは Ach が和合^{④⑤}の使用した量を更に上まわるものであつたので、この疲労

は Ach の効かない contraction fatigue であることが判つた。

而し、「非被験側疲労」の場合では、疲労刺激による疲労が、contraction fatigue のためか^⑥、又は刺激時間の短いためか、明かでないが、V/Vr 値の変動はなかつた。「被験側疲労」の「筋」測定の際のみ疲労が現れず、「神経」測定の際のみ疲労がみられたのは、疲労刺激を実際に筋直接に作用させた場合と、神経を通じて間接に刺激した場合と筋刺激効果の上に何らかの本質的な相違が考えられた。

更に、gl. acid (4×10^{-6} g/g(体重))を疲労刺激終了直前に注射したところ、3 \sim の「被験側疲労」「神経」測定では強く抑制された。一方50 \sim 刺激による、各種の疲労は殆んど gl. acid で作用を受けず Ach の効果と全く対照的な成績を示した。このことは和合^④、赤羽^⑦、渥美^⑧及び山村^⑨等の成績と同様で、Ach で効かない疲労、即ち contraction fatigue に対して強い疲労抑制効果を示した。

B 50 \sim 以上の疲労刺激について

Rosenflneth^⑩及び del Pozo^⑪等は高頻度で骨格筋を刺激すると、神経末端に於ける Ach 放出の缺乏による transmission fatigue が起ることを報告した。

和合^{④⑤}は、人体について、下肢を膝関節で伸展し、足関節に2.02kgを負荷して10~120秒間支えさせて、「随意性疲労」をおこしたことを報告した。又 n. femoral. に毎秒180回の頻度で刺激し、m. rect. のみ収縮させた「不随意性疲労」を報告したが、何れも微量の Ach (7×10^{-7} g/g(体重))で完全に抑制出来る transmission fatigue であつたことを報告した。

本実験では、50 \sim 、120 \sim 、250 \sim 、500 \sim 及び1250 \sim 等の種々の低周直角脈波電流によつて「被験側」及び「非被験側疲労」を起したが、これ等全てにおいて、疲労刺激後 V/Vr 値の増大が見られた。50 \sim の疲労刺激の際のみについて夫々刺激終了前に physostigmin 及び Ach の微量(10×10^{-7} g/g(体重))を注射しておく、刺激終了後 V/Vr 値に全く増減が現れず、完全に疲労が抑制されたことが明かとなつた。これは3 \sim 刺激の「被験側疲労」「神経」測定に全く無効であつた事実と対照して重要な相違があつたことは上記の通りであつた。更にこの疲労に対し gl. acid の微量(4×10^{-6} g/g(体重))を注射して疲労刺激後 V/Vr の値の変化を見たが、依然として増大を示した。この疲労の i. r. については、gl. acid を注射しなかつたときの成績とよく一致し、全く疲労抑制作用がなかつた。この場

合、その変動は誤差範囲^④であつたが、各実験条件例外なく恢復時間が短縮していた。これは gl. acid が多少疲労抑制作用を示すものと考えられる。従つて gl. acid は transmission fatigue に或る程度効果があるという和合^⑤の実験からよく理解出来る。但しこの機序については、肝臓に於ける抱合下毒機能亢進に因る疲労物質の排除が急速に行われたためか明白でないが、全身的に恢復が促進したことが判つた。

C Km 及び Kn について

実験した低周直角脈波電流の各周波数々々について、Km 及 Kn を観ると、実験条件の相違にも拘らず、各周波数々々について一致した値が得られた。一方夫々の条件について、周波数の増大に伴い、Km 及び Kn は一致し、3~刺激（但し「被験側疲労」「神経」の場合のみ）に於いて最高値を示し、120~まで比較的急に減少し、より以上の周波数については、殆んど不変な傾向を示した。

和合^{④⑤}は人体骨格筋疲労に、「不随意性疲労」と「随意性疲労」とがあり、前者では $Km=Kn$ 、后者では $Km>Kn$ の関係が成立したことを報告した。従つて本実験では、全てこの和合の「不随性疲労」に一致するものであつた。

全ての実験について周波数の増大に伴い、Km 及び Kn が何故減少したかという疑問が残つた。これは 3~刺激で「被験側疲労」「神経」測定 of 疲労が contraction fatigue であつたこと、50~刺激の全ての疲労が Ach の微量で完全に抑制出来、gl. acid では殆んど無効であつたこと、及び 50~ (Km 及び Kn の平均約 2.1 分以上) の全ての疲労刺激による各実験の Km 及び Kn が、周波数の増大に伴つて殆んど増減を示さず、約 1.0 分の小さな値であつた。及び人体における physiological nerve impulses 以上では nerve ending に於ける Ach 消耗の速度が速いため、transmission fatigue の型を示し、周波数の増大と共により純粋な transmission fatigue になつたものと思われる。

D 「被験側疲労」と「非被験側疲労」について

「非被験側疲労」で得られた Km, Kn 及び i. r. は、疲労刺激が同一であれば、「被験側疲労」の成績と全てよく一致した。

高橋^{⑥⑦}は、血行のある麁の骨格筋で、transmission fatigue は「非被験側疲労」をおこし、この際得られる Kn は全て刺激持続時間に無関係で一定の値を示した。一方 contraction fatigue は「非被験側疲労」をおこすことは全くなく、この際疲労刺激持続時間を延長すると、Kn は次第に減少の傾向を示したことを報

告した。又松原^⑧は人体の手疲労について、3秒に1回の頻度で、905g をかけた Mosso の ergograph による比較的短時間の作業では、「非被験側疲労」は全く観られなかつたことを報告した。

本実験で上記の様な成績は、各周波数について「被験側疲労」「非被験側疲労」のいづれも、Km, Kn 及び i. r. が量的に一致したこと、全体的傾向をみれば、何れの疲労も、周波数の増大に伴つて、i. r. は増大を示し、Km 及び Kn はこれと逆に減少した。

V 結 論

A 人体について、被験側及び非被験側の n. femoral. 及び m. rect. femor. に、3~, 50~, 120~, 250~, 500~ 及び 1250~ の種々の低周直角脈波を10分間持続通流し、被験側 m. rect. femor. を直接（「筋」）乃至 n. femoral. を通じて間接（「神経」）に、骨格筋興奮性の変化を和合の $0.75\mu F V/V_r$ 法で測定した。前者を「被験側疲労」、后者を「非被験側疲労」といわれる。

B 3~で10分間持続刺激した場合、「被験側疲労」の「神経」測定についてのみ疲労が観られ、下記の事項が明かとなつた。a) Km は平均 2.8 分であつた。b) Ach の微量 ($13 \times 10^{-7} g/g$ (体重)) では殆んど抑制出来なかつた。この場合の Kn は平均 2.9 分であつた。c) glucuronic acid の微量 ($4 \times 10^{-6} g/g$ (体重)) で殆んど抑制出来た。d) この骨格筋疲労は contraction fatigue であつた。

C 50~以上の周波数で10分間持続刺激した場合、「被験側疲労」及び「非被験側疲労」夫々の実験条件全てについて、明かに疲労が観られ下記の事項が判明した。a) 各実験条件別及び「被験側」「非被験側」別による、i. r., Km 及び Kn の相違はみられなかつた。b) 各周波数による Km 及び Kn の相違は「被験側疲労」及び「非被験側疲労」のいづれも、50~から120~刺激まで急に減少し、后一定値を示した。前者では 2.1分 (50~), 1.5分 (120~), 1.4分 (250~), 1.2分 (500~) 及び 1.1分 (1250~) で、后者では 2.1分 (50~), 1.5分 (120~), 1.2分 (500~) 及び 0.99分 (1250~) であつた。c) 50~刺激による骨格筋疲労は、実験条件の相違にも拘らず、gl. acid の微量 ($4 \times 10^{-6} g/g$ (体重)) で、i. r., Km 及び Kn 全ての点からみて、全く疲労を抑制出来なかつたことが判つた。この場合残つた疲労の Km 及び Kn の平均は夫々約 2.0 分で、多少対照に比して減少したが、誤差範囲の変動と看做すことも出来た。d) 50~以上で10分間持続刺激したときの骨格筋疲労は、同時に他の骨格筋に同様な性質の疲労をおこすことが判つた。e) 50~以

上で10分間持続刺激したときの骨格筋疲労は, Achの微量で (10×10^{-7} g/g (体重)) によつて完全に抑制出来た。これは疲労が transmission fatigue であることを示している。

D 種々の低周直角脈波電流で10分間持続刺激した場合, 3 \sim では contraction fatigue がおこつたが, 周波数の増大に伴い transmission fatigue を混じ, 1250 \sim 刺激では純粋な transmission fatigue の型を示すと考へられる。

文 献

①Rosenblueth, A. & J. V. Luco (1939) Amer. J. Physiol. 115. 52. ②del Pozo E. C. (1942) ibid. 135, 763. ③和合卯太郎 (1952) 信大紀要 2. 17.

④和合卯太郎 (1953) ibid. 3, 106. ⑤和合卯太郎 (1954) ibid. 4, 122. ⑥和合卯太郎 (1956) 日本生理誌 18, 12, 965. ⑦和合卯太郎: 近日日本生理誌発表の予定 (第12報). ⑧和合卯太郎 (1958) 第3回中部地区生理学談話会発表. ⑨高橋重丈 (1957) 日本生理誌 19, 4, 304. ⑩高橋重丈 (1957) ibid. 19, 4, 314. ⑪和合卯太郎 (1957) Reports on Guronsan (中外製薬株式会社). ⑫赤羽伸弘 (1958) 第3回中部地区生理学談話会発表. ⑬渥美英雄 (1958) ibid. ⑭松原幹彦 (1957) 第2回中部地区生理学談話会発表. ⑮山村 栄 近日本誌掲載予定. ⑯中外製薬株式会社 (1957) Reports on Guronsan.

低周直角脈波通流による人体骨格筋興奮性の変化

第2報: 疲労刺激の強度及び持続時間と疲労との関係

(人体の筋・神経の興奮性の研究 第21報)

昭和34年1月5日 受付

信州大学医学部第一生理学教室 (主任: 和合卯太郎教授)

研 究 生 岸 茂

Excitability of Human Skeletal Muscle by Stimulation with Low Frequency Pulses

Part 2: Relationship between Stimulating Intensity or Duration and Fatigue caused

(Studies on the Excitabilities of Nerve and Muscle in Man, XXI)

Shigeru Kishi

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

I 緒 言

最近, 和合④⑥⑧, 赤羽⑦及び渥美⑨等は人体骨格筋の transmission fatigue と contraction fatigue①②について報告した。更に前者は微量の acetylcholine, Ach で抑制出来, 后者は Ach では抑制出来ないが, glucuronic acid で一部抑制されたことを報告した。

又前報告⑩で, 種々の周波数の直角脈波電流で刺激し, 人体骨格筋疲労をおこしたとき, 3 \sim , 10分間刺激では, その疲労は Ach で全く抑制出来ないが, gl acid で一部抑制出来た。従つてこれは contraction fatigue であつた。一方50 \sim 以上の周波数で10分間刺激の, 疲労は Ach で完全に抑制し得る transmission fatigue が得られた。又疲労は周波数の増大に伴つて

次第に純粋な transmission fatigue の型を示したことを報告した。

本研究では, 更にこの周波数の相違による疲労の性質が, 疲労をおこす刺激電流の強さ, 及刺激持続時間の相違によつて如何なる変化を示すか, 発生する疲労が如何なる性質を示すか等について実験した。

II 実験方法

A 測定方法

前報⑩と全く同様であつたので省略した。

B 測定装置その他

測定装置及び測定時必要な注意事項等は前報告の通りであつた③④⑨。

C 疲労を起す方法