

暗順応眼に対する光照射による人体骨格筋興奮性の変化

第1報 白色光照射

(人体の筋・神経の興奮性の研究 第39報)

昭和34年6月23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 井手 泰夫

Change of Excitability of Human Skeletal Muscle by the Stimulation of Light to Retina in Dark Adaptation

Part I Relationship between the Stimulation of White Light and Excitability of Skeletal Muscles

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

Yasuo Ide

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

I 緒言

清水(道)^①は、筋の興奮性の測定法として、和合の V/Vr 法^{②③④}により、明順応眼を遮光して、m. rectus femoris 並びに m. extensor pollicis longus の V/Vr 値を測定した。遮光中徐々に V/Vr 値は低下し、凡そ20~40分後に最小値に達した、后そのままの一定値を続け、遮光中止と共に速かに正常値に戻る事を報告した。この時、筋直接又は神経を通じての間接の測定共に、同一の結果を得た。そして遮光前の光の照度(L)と、遮光中 V/Vr 値の最少値に達する迄の時間(T)との間に次の実験式を得た。

$$T = 70 \log \log (L + 10)$$

著者は暗順応眼に光照射を与え、V/Vr 値の経過に就いて、下記の種々の実験を行った。

i) 暗順応眼に白色光照射を与えた時、安静にして、疲労していない筈の骨格筋の興奮性の変化について。

ii) 網膜中心窩及び周辺部に、白色光照射を与え、安静骨格筋の興奮性の変化について。

iii) 白色光照射の照度と、骨格筋の興奮性変化との関係について。

iv) 白色光照射による、骨格筋疲労に対する acetylcholine, Ach の効果について。

II 実験方法

A 測定装置

測定装置は、和合^②のものと全く同様であつた。

B 測定方法

被験者を、bed 上に仰臥させ、出来るだけ全身に力の入らない様に注意し、暗順応及び明順応をおこし、骨格筋興奮性の変化を m. rect. fem. に関して、この筋直接「筋」又は n. femoralis を通じ間接「神経」に骨格筋興奮性の変化を清水(道)^①と同様 0.5μFV/Vr 法によつて測定した。刺激部位の撰び方、被験者の姿勢、其の他測定の際注意すべき事項は和合の報告^⑤と全く同様であつた。

C 光照射の方法

a) 明順応

眼被験者を 300~1,500lux の種々の明るさの実験室に入れて出来るだけ安静にして、開眼したまま bed 上に仰臥させた。少くとも20分間のこの状態に放置し、次いで測定を始めた。以后此の状態の眼を「明順応眼」と看做し、数回反復測定した V/Vr 値の平均を「明順応値」とした。

b) 暗順応眼

「明順応値」測定后、左右両眼を各々黒布の眼帯でおおい、完全に光の入らない様遮光した。遮光后 V/Vr 値は次第に低下し20~40分后最少値に達し、以后そのまま一定の値を保つた。得られた V/Vr 値の最少の値を「暗順応値」と称び、この状態の眼を「暗順応眼」と称した。

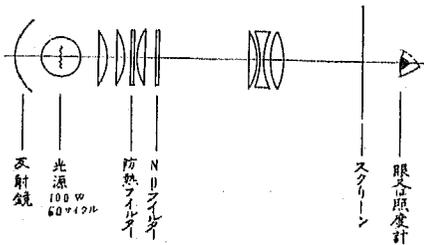
c) 網膜全体に光照射を与える方法

「暗順応値」測定后、実験室全体を暗室となし、他の部分に光が洩れないように覆をした、2V の豆電球で、測定下肢及び測定装置だけを照し、光を当てた部

分と被験者の頭部との間には黒布で隔壁を作り、眼が不要な光線で照らされる事のないよう充分注意した。光照射には第1図の光学系を使用した。光源は60~100Wの白熱電球を使用し、先ず縦10cm、横10cmの四角な摺硝子の screen の後方10cmの位置で、柴田化学機械製の照度計を置いて照度を測定し、次いで左眼は黒布で遮光したまま、右眼の眼帯を外して照度計と同一の位置に角膜表面が置かれるようにし、screen 中央を注視させた。これを白色光照射とした。照射開始と同時に測定を始めた。

猶、照度の変更には Walz 製の neutral density (N. D.) filter を用いた。

第1図 網膜全照射用光学系

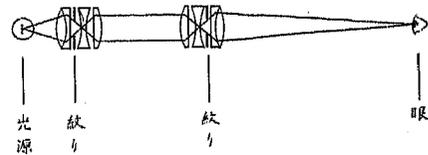


d) 主として網膜中心窩並びに周辺部のみに光照射を与える方法。

a) 左眼は遮光したまま、右眼に主として網膜中心窩並びに周辺部のみに光照射を与えた。あらかじめ散瞳させるため、興和新薬工業株式会社製、5% Neo-Synesis [1-1-(m-Hydroxyphenyl)-2-methylaminoethanol hydrochloride] を30分間隔で、2回点眼を行い、十分に散瞳させた暗順応眼について、第2図に示した光学系で白色光照射を与えた。Polyak^⑥によれば、中心窩は直径 0.1mm 視角にして約 20° である。此の部を照射するために第2図のような光学系を作った。即ち、60~100V の交流を落し 2V の豆電球を光源とした。集光するためには、2個の Tessar type の lens を使い、各 lens の絞りを F11 とした。対眼 lens と角膜表面までの距離を 50cm として角膜上に来る丈小さな光点を結ぶようにした。此の場合、計算による視角は約 35° であつた。被験者を出来る丈安静にして、此の光点を注視させた。この方法による光照射は主として網膜中心窩を照射出来るものと思われたので、「中心窩照射」とした。

b) 網膜周辺部光照射として、右眼で一定点を注視させ、前項と同様な方法で鼻側周辺約 40° の位置に光点を結ばせるようにした。此のような光照射を「網膜周辺部照射」とした。

第2図 網膜部分照射用光学系



D 疲労抑制剤

疲労抑制剤として Ach は塩野義製薬株式会社製 Ovisot を使用した。又 Ach の分解抑制剤としての prostigmine には、第一製薬株式会社製の Vagostigmin 用いた。

E 被験者

23才から35才迄の眼疾患を有しない健康な男女を6名使用した。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 全網膜白色光照射による安静骨格筋の興奮性の変化

a) 明順応値

同一被験者について、同一測定日に於ける測定、及び日を異にした測定の何れの場合でも、第1表に示すように「筋」「神経」共に±2%の範囲内にて一定の値を示した。

第1表 各被験者の明順応値

姓名	性	明順応値 (0.5μF V/Vr)	
		神 経	筋
Z H	♂	1.17~1.18	1.18~1.20
Y A	♂	1.23~1.26	1.12~1.14
M O	♂	1.12~1.16	1.16~1.21
S K	♂	1.13~1.15	1.12~1.15
K M	♀	1.08~1.11	1.08~1.11
F T	♀	1.08~1.10	1.09~1.11

b) 暗順応値

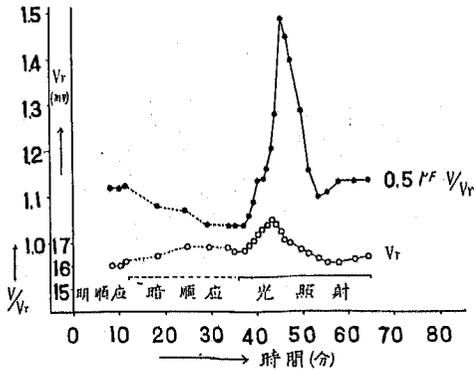
明順応眼を遮光すると、安静にしている疲労していない筈の m. rect. fem. について、V/Vr 値は「筋」「神経」共に漸次減少し、20~40分後に最低値を示し、この値をそれ以後つづけた。この時間的経過は潜水(道)^④と全く同様な成績であつた(第3図、第4図)。暗順応値は第2表に示すように、同一被験者に関して、同一測定日に於ける測定でも、日を異にした測定

に於いても、一定の値を示した。

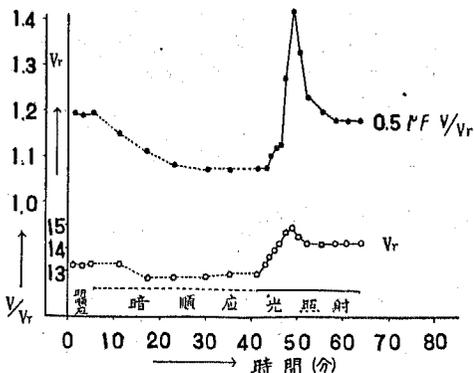
第2表 各被験者の暗順応値

姓名	性	暗順応値 (0.5μF V/Vr)	
		神 経	筋
Z H	♂	1.06~1.07	1.06~1.08
Y A	♂	1.05~1.07	1.05~1.07
M O	♂	1.04~1.06	1.04~1.06
S K	♂	1.04~1.06	1.04~1.07
K M	♀	1.03~1.07	1.03~1.06
F T	♀	1.04~1.06	1.04~1.06

第3図 白色光全網膜照射による骨格筋興奮性の変化の時間的経過 (其の1)
(白色光 65 lux 「神経」)



第4図 (其の2)
(白色光 35 lux 「筋」)



c) 白色光全網膜照射による骨格筋興奮性の変化の時間的経過

充分な暗順応眼に、白色光全網膜照射を与えると、m. rect. fem. の V/Vr 値は急激に増大し、次で光照

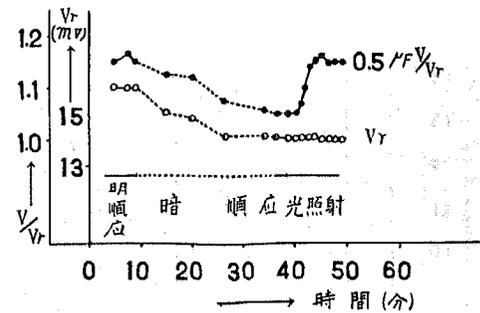
射を継続しているに拘らず、V/Vr 値は再び急速に下降しやがて一定の値を示した。この値は明順応値に一致した。此のような V/Vr 値の変動は「筋」及び「神経」の何れについても観られた (第3図、第4図)。

又 Vr は V/Vr とほぼ同様な経過を示す場合もあつたが、時には低下を続けることもみられ一定しなかつた。これは従來の報告^{②③④}と同様であつた。

上記の V/Vr 値の時間的経過は、光照射を始めた後測定には1回約1分間を要したが、第1回の測定では V/Vr 値は不変であつた、即ち約1分間の潜伏期を経て増加し始め、増加の途中に一つの折れ目 (knickung) を示した。即ち二相性の経過を示している事がわかつた。被験者別並びに照度により異なるが、光照射開始約3~4分后、V/Vr 値は一定の処迄ゆるやかに上昇し、一時上昇を停止し、其の後急峻に上昇し、后下降した。これを概観するに二つの曲線部分から成立しているものと考えられる。前者を第1次曲線、後者を第2次曲線と称した。

なお、此の二相性の曲線は 10 lux 以下の照度では、第1次曲線が観られ、第2次曲線は認められなかつた (第5図)。

第5図 (其の3)
(白色光 16 lux 「筋」)



B 白色光網膜部分照射による安静骨格筋の興奮性の変化の時間的経過

主として網膜中心窩及び周辺部に白色光照射を与え、この2種の網膜照射による安静骨格筋にあらわれる V/Vr 値の変動を m. rect. fem. について測定した。第2図に示した光学系を用い光の照射を行つたが、この時照射した光は、眼球内に於て種々乱反射され、期待される様に中心窩のみ、又は周辺部のみを撰択的に照射する事は不可能である。

又 Wright^⑦の述べている様に中心窩を光照射する場合、被験者は殆んど数秒間しか光照射に耐え得ない

と云われるが、上記の方法を、中心窩照射と看做した。

又周辺部のみの光照射の場合は、被験者は明るいと感じるのみで、外観的に眼を動かさずに光照射に耐え得た。

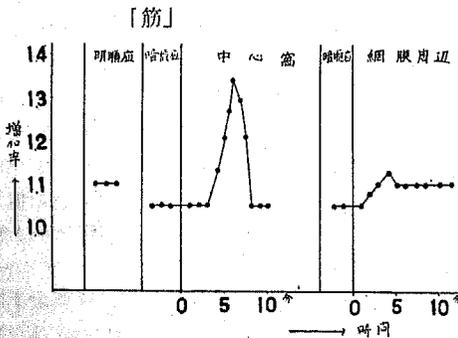
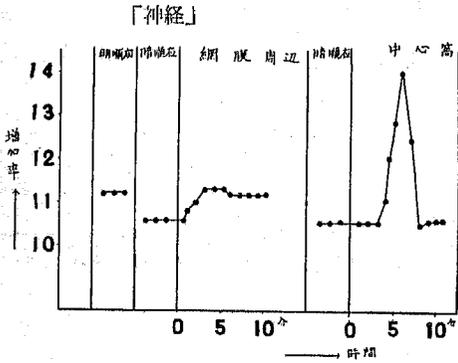
実験に際しては、全例に於て左眼は遮光したまま、右眼に光照射を与えた。光を与えれば、瞳孔はこれに反応して変化する。強い光では縮瞳がおこり、そのため網膜照射の条件が不定であつた。これを一定するため、予め30分間隔で5% Neo-Synesisinを2回点眼して、充分に散瞳させた。

第6図に示した様に、2種の光照射のいずれの場合も安静 m. rect. fem. の V/Vr 値は、急に増大した。

i) 中心窩を照射した時は、2~3分の潜伏期を経て、V/Vr 値は急に増大して最大値を示し、后再び急激に減少して、暗順応値に戻つた。后一定不変値を保つた。しかし乍らこの場合、増大后減少して明順応値に戻つて一定した例もあつた(第6図)。

ii) 一方、周辺部のみの照射では 約1分の潜伏期を経て安静 m. rect. fem. の V/Vr 値は緩かに増大して最大値を示し、次いで減少し明順応値に戻つた(第6図)。

第6図 網膜中心窩又は周辺部のみの白色光照射による V/Vr 値の時間的経過



C 種々の照度の白色光照射と安静骨格筋の興奮性の変化について

「明順応値」, 「暗順応値」を測定した後、第2図の光学系を N. D. filter を用いて、照度を種々に変え全網膜に対し白色光照射を与えた。この際観られる骨格筋興奮性の変化を m. rect. fem. について測定した。実測値は第3表に示した。

光照射開始后から V/Vr 値が最高に到る迄の時間を「頂点時」とする。照度が大きい程「頂点時」はやや延長した。

頂点時から明順応値に戻る迄の時間を、「明順応回復時間」とすると、照度との間に前同様の傾向が観られた。

第3表 種々の照度の白色光照射による安静骨格筋興奮性の変化即ち実測 V/Vr 値
subj Z. H. ♂ 21才
「神経」

実験番号	ルクス	明順応値	暗順応値	最高値	増加率	頂点時間	明順応回復時間
27	8	1.18	1.06	1.16	1.09	3分	0分
6	16	1.18	1.06	1.28	1.21	6	2
19	16	1.18	1.08	1.25	1.16	4	2
23	19	1.18	1.07	1.24	1.16	4	1
4	32	1.19	1.08	1.31	1.21	7	10
20	32	1.18	1.07	1.34	1.25	6	5
25	32	1.20	1.08	1.44	1.33	6	4
16	54	1.17	1.06	1.49	1.40	7	7
21	68	1.18	1.07	1.46	1.36	6	7
24	68	1.18	1.07	1.41	1.32	6	6
18	115	1.17	1.06	1.50	1.41	12	16
22	115	1.18	1.06	1.53	1.44	5	7
28	125	1.16	1.07	1.45	1.35	6	7
26	147	1.17	1.08	1.55	1.44	6	9

「筋」

実験番号	ルクス	明順応値	暗順応値	最高値	増加率	頂点時間	明順応回復時間
29	8	1.17	1.07	1.08	1.10	4分	0分
8	16	1.18	1.06	1.26	1.19	8	3
11	16	1.17	1.06	1.22	1.15	7	3
14	30	1.18	1.07	1.36	1.30	8	4
15	30	1.18	1.07	1.37	1.28	6	8
7	60	1.18	1.07	1.44	1.35	7	9
13	60	1.17	1.06	1.44	1.34	7	5
9	85	1.17	1.06	1.45	1.37	5	9
15	125	1.17	1.07	1.48	1.38	9	17
16	135	1.17	1.06	1.48	1.40	10	7

光照射時の最高 V/Vr 値 = 増加率 (i.r.) と称した。
暗順応値

増加率と光照射の種々の照度との関係は、照度の対数値と i.r. との間に、略々直線の又は、S 字状の関係のある事が判つた (第 7, 8 図)。又 S 字状関係の観られた場合でも、10 から 80 lux の間では直線関係を示した。

これらの関係から実験式を求めると下記の様であつた。

$$\text{増加率 (i.r.)} = (0.35 \pm 0.04) \log L + (0.81 \pm 0.04)$$

L: 照度

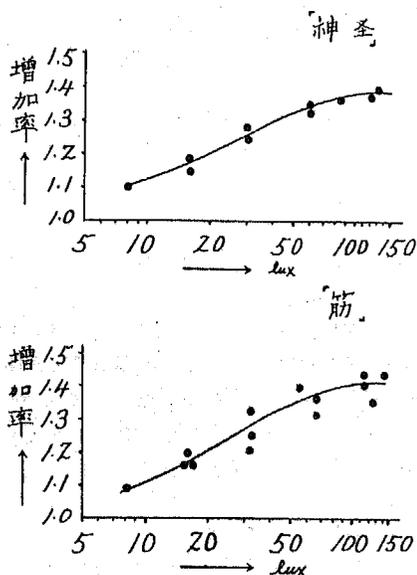
D Ach の効果

Vagostigmin 0.5ml を上膊皮下注射した 5 分后、

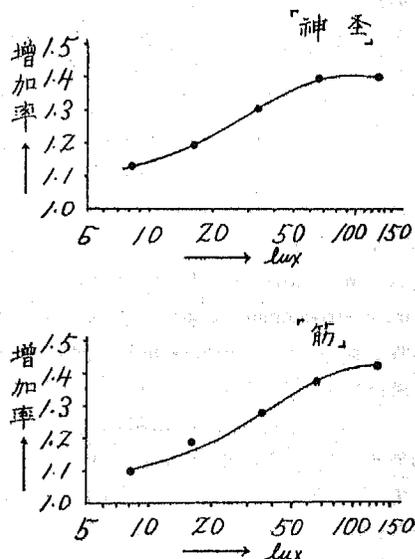
第 4 表 種々の照度の白色照射による安静骨格筋の変化. V/Vr 平均値

Lux	「神 経」						「筋」					
	明順応値	暗順応値	最高値	増加率	頂点時	明順応回復時間	明順応値	暗順応値	最高値	増加率	頂点時	明順応回復時間
8	1.18	1.05	1.19	1.13	3.6分	0分	1.14	1.06	1.17	1.10	3.0分	0分
16	1.18	1.05	1.25	1.19	5.0	2.6	1.14	1.07	1.27	1.19	4.3	2.4
32	1.18	1.05	1.36	1.30	4.5	4.0	1.16	1.06	1.35	1.26	6.0	5.1
65	1.18	1.05	1.46	1.39	6.2	7.8	1.16	1.07	1.46	1.36	5.5	8.0
130	1.18	1.05	1.47	1.40	7.0	7.0	1.16	1.06	1.51	1.42	6.1	9.2

第 7 図 実測 V/Vr 値
subj. Z. H. 21才 ♂



第 8 図 V/Vr 平均値



第 5 表 白色光照射に対する Ach の効果, 平均値。照度: 65lux
括弧内は非注射時の値を示す

氏名	神 経				筋			
	実験回数	最高値	頂点時	明順応回復時間	実験回数	最高値	頂点時	明順応回復時間
K. M.	3	1.23 (1.46)	4 (7)分	3 (7)分	3	1.21 (1.46)	5 (7)分	4 (7)分
H. I.	2	1.22 (1.48)	4 (6)	4 (7)分	3	1.21 (1.45)	5 (6)	4 (6)
M. O.	2	1.18	5	5	3	1.18	4	6

Ovisot $13 \sim 18 \times 10^{-4} \text{g/kg}$ を上膊及下注射終了後5分を経て、65luxの明るさの白色光全網膜照射を与え、Achの疲労抑制作用を観た。

第5表に示す様に、最高V/Vr値はAchの非注射時に比べて小さい値を示した。頂点時、明順応回復時間はそれぞれ非注射時に比し短かかった。即ちAch注射によつては、白色光照射によるV/Vr値の上昇は一部抑制された。

IV 総括並びに考案

A 明順応眼を遮光する事によつて、安静骨格筋のV/Vr値の減少を観た。V/Vr値は遮光後20分乃至40分で最小値を示し、以後其の値を続けた。此のV/Vr値の経過は清水(道)^①の報告と同様であつた。

暗光応眼に白色光照射を与えると、安静にして疲労していない筈の骨格筋のV/Vr値に増大を観た。このV/Vr値の増大は和合^②の報告の如く疲労の発生と看做される。

光照射による疲労の経過は、約1分間の潜伏期を経て、後V/Vr値は途中に一つの折れ目(knickung)を示しながら上昇し、后下降を示し明順応値に等しくなり、其の値を続けた。

和合^②は、m. ext. poll. long. に Mosso の Ergogramにより疲労を起させると、安静にして疲労していない筈の m. rect. fem. に疲労の表われる事を観、疲労が液性伝導される事を報告した。又高橋^③は、ガマの1側の n. ischiadics を inductorium によつて刺激し、m. gastrocnemius に強縮を起させると、血行がある時は他側の m. gastrocnemius に疲労が表われるが、血行を止めてある時は、疲労が表われない事を報告し、又この時左右の n. ischiadics を切断しても同一結果となつたから疲労が中枢性のものでなく、液性伝導する事を動物実験によつて証明した。

光照射によつて約1分間の潜伏期の後、m. rect. fom. に疲労が表われる事は網膜に発生した疲労の原因が液性伝導され m. rect. fem. に到達する迄の時間と考えられ、全身の血液循環時間の45~50secと一致する。

Hecht^④は、暗順応の時間的経過について光感度を指標として測定すると、其の経過に二相性の折れ目を得、其の折れ目の前は錐状体細胞、後は杆状体細胞の暗順応により生じると述べている。

網膜の部分照射の場合、中心窩照射を錐状体細胞照射、周辺部照射を杆状体細胞照射と考え、各二種の照射による夫々の疲労の代数和によつて、全網膜照

射による疲労曲線の二相性があらわれ、第1次曲線は杆状体明順応機能、第2次曲線は錐状体明順応機能によると考えられる。

本研究は網膜光照射と安静骨格筋に於けるV/Vr値の変化との相関々係であつて、Hechtの実験とは全く異つているにもかかわらず、杆状体細胞と錐状体細胞との区別が両実験に現われている事は本質的に等しい過程が存在するものと考えられる。

和合^②は15分間暗算をさせると、安静にしていて疲労していない筈の骨格筋に、疲労が表われる事を報告し、この疲労は中枢性過程によるものであらうと述べている。

又倉田^⑤は騒音を聞かせると、安静骨格筋に疲労が表われる事を報告し、知覚刺激を加え、又は除却する事によつて、精神活動をうながし、その結果筋の興奮性の変化を来たす事を観ている。即ち神経性の刺激の有無が、安静骨格筋に影響して、V/Vr値の増加並びに減少を来すと述べている。

本実験に於ける光照射による安静骨格筋の疲労は、一部は液性伝導、又一部は和合、倉田の実験の如く、中枢性の原因によると考えられる。

B 照度と骨格筋疲労

照度の対数と、疲労の増加率との間には、直線的の比例関係が認められ、又頂点時、明順応回復時間は照度の大きい程時間は延長を示した。

Chaffe and Hampson^⑥は白色光照射刺激で生じるERGのb波の大きさは、high intensity range では、 $\log 1$ (照度) に比例すると述べている。

本実験は安静骨格筋の値の変化であり、Chaffe and Hampson は ERG であつて、両実験は全く別種のものであるが、共通する成績も出た。即ちいづれも網膜への刺激強度の増加に従つて、ERGのb波が、又V/Vr値が対数的に増大した点は同一であつた。

C Achの効果

Del Pozo^⑦は血行ある猫の骨格筋を間接に刺激して、頻度が毎秒30回以上の時は transmission fatigue が起り、20回以下の時は contraction fatigue となり、20回と30回の間中の頻度では両者の混合が起る事を報告している。

又 transmission fatigue は Ach により抑制され、contraction fatigue は Ach によつて抑制されないという報告もある。

又和合^②は人体に関して、下肢を膝関節で伸展させ、足関節に2.02kgを負荷して、10秒乃至20秒支え

させ、随意性疲労を起させた場合、発生した疲労は Ach によって抑制出来る transmission fatigue であつた事を述べている。

又前記和合の暗算の実験では Ach によつて疲労が抑制出来た事を報告した。

又前記倉田の騒音実験でも、微量の Ach によつて抑制された事を報告した。

本実験に於て、Ach は他の諸報告^{③④⑤}に比べて、比較的多量の $13\sim 18 \times 10^{-4} \text{g/kg}$ を使用したが、疲労は全く抑制出来ず、Ach 非注射時に比べて、増加率については多少の減少の傾向があらわれた。又頂点時、明順応回復時間の短縮があらわれた。

従つて、Ach のみでは完全に疲労の抑制がみられなかつたから、本実験で得られた骨格筋疲労は、transmission fatigue と contraction fatigue の両者の混合したものであると考えられる。

V 結 語

1) 暗順応状態の眼に白色光照射を与えた場合、安静時 m. rect. fem. の興奮性変化を、この筋直接又は n. femoralis を通じて間接に、 $0.5 \mu \text{FV/Vr}$ 法によつて測定した。

2) 明順応限を遮光すると、漸次 V/Vr 値は低下し、遮光后20分乃至40分後に最小値に達し以後一定の値を続けた。

3) 暗順応状態の全網膜に白色光照射を与えると、V/Vr 値は急速に増大し、更に光照射中にもかかわらず、再び急速に下降し、略々明順応値に達して后引きつづき一定値をつづけた。この際、V/Vr 値の増大は二相性の経過を示した。即ち1分間の潜伏期后緩かに増大する第1次曲線と、其の後急峻に増大して最大値に達し、次いで直に減少して明順応値に戻る2次曲線の2つの部分に分ける事が出来た。

4) 暗順応の状態の限に、中心窩、又は周辺部のみに限局して照射を行つたとき、中心窩照射を錐状体照射、周辺部照射を杆状体照射とすると、第1次曲線は主として杆状体明順応、第2次曲線は主として錐状体明順応により生じ、全網膜光照射による V/Vr 値の時間的経過は此の二つの曲線によつて生じたものと考えられる。

5) 白色光照射の照度 (L) の対数と増加率 (i. r.) の間に、直線的関係が観られ次の実験式を得た。

$$i. r. = (0.35 \pm 0.04) \log L + (0.81 \pm 0.04)$$

又頂点時、明順応回復時間は照度が大きい程長かつた。

6) 暗順応眼に白色光で照射した場合に観られる骨格筋の V/Vr 値の増大は、Ach では完全に阻止出来なかつた。

これは本実験の疲労が transmission fatigue のみでなく contraction fatigue との混合であると考えられる。

文 献

- ①清水道男 日本生理誌 Vol. 19, No. 2 ②和合卯太郎 信州大学紀要 2号 ③和合卯太郎 信州大学紀要 3号 ④和合卯太郎 信州大学紀要 4号 ⑤和合卯太郎 日本生理誌 Vol. 12, No. 5 ⑥Polyak S. L. the Retina. Chicago Univ. press Chicago 1941 ⑦Wright W. D. Reserch on Normal and Defective Color Visison. 1946 London; Henry Kimpton ⑧高橋重丈 日本生理誌 Vol. 19, No. 4 ⑨Hecht S. and Mandelbaum J. Am. Med. Assn. 112, 1910 ⑩倉田吉晴 信州医学雑誌 Vol. 7, No. 5 ⑪Chaffe and Hantsom 三田俊定 日本生理誌 Vol. 18, No. 5 から引用 ⑫Del Pozo E. C. Amer. J. Physiol. 135; 763, 1942