

低周直角脈波電流の脊髄通電による人体骨格筋興奮性の変化

(人体筋・神経の興奮性の研究 第23報)

昭和34年2月2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
研 究 生 山 村 栄

Excitability of Human Skeletal Muscle by the Stimulation of Spinal Cord with Low Frequency Rectangular Pulses (Studies on the Excitability of Nerve and Muscle in Man, XXIII)

Shigeru Kishi and Sakae Yamamura
Department of Physiology, Faculty of Medicine, Shinshu University
(Direct. Prof. U. Wago)

I 緒 言

人体に関して低周直角脈波電流 (Augospel) を脊髄に通流したとき、末梢神経及びその支配する骨格筋の興奮性に影響がおこるか否かを測定した。

II 実験方法

A 被験者

15才から22才で、体重 50kg から 60kg の健康な学生を使用した。被験者について、実験前後に注意すべき事項は、和合^④と全く同様であつた。

B 測定方法

被験者を出来るだけ全身の力を抜いて寝台上に仰臥させ、一定時間背髄通電を実施し、その直後に m. extensor pollicis longus 及び m. rectus femoris の興奮性の変化を、夫々筋直接又は n. femoralis を介して間接に、和合の $0.75\mu\text{F V/Vr}$ 法^{④⑦⑧⑨}で測定した。

C 測定装置その他

測定方法は和合の原法^{④⑤}と同様であつた。

D 脊髄通電

平和電子研究所製の Augospel を使い、附属の所謂治療電導子並に測定用不閃電導子を、それぞれ頸部脊面及び腰部脊面に当て、通流した。陽極が頸部脊面にある場合を陽極通電、その逆方向を陰極通電と称ぶことにした。本実験を通じて、1250 \sim の低周直角脈波電流を 4mA で30分又は50分間通流した。

E 「負 荷」

脊髄通電終了直前に、被験者に仰臥位のまま、下肢を bed の側面に出し、脛骨末端部に 5.02kg の重りをかけ、50秒又は120秒間下肢を伸展して支えさせた。そしてこの時の m. ext. poll. long. 及び m. rect. fem. に現れる疲労^⑦についてしらべた。このときの下肢の仕事は「負荷」と称んだ。「負荷」に際し注意すべき事項は、和合^④と同様に実施した。

F Acetylcholine, Ach は塩野義製薬株式会社製の Ovisot を使つた。脊髄通電終了15分前に、予め prostigmin 0.5cc を上腕外側皮下に注射し、10分前に Ovisot 0.033g を同部位に注射し、脊髄通電による骨格筋の V/Vr 値変動に対する効果を見た。なお、prostigmin には第一製薬株式会社製の Vagostigmin を使つた。

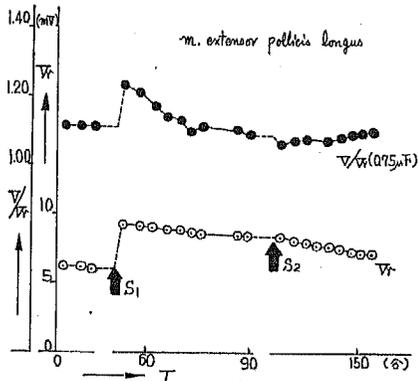
III 実験成績

A 脊髄通電の効果

a) 陽極通電

M. ext. poll. long. の V/Vr 値は、通電直后少々減少の傾向を行したが、全て有意の変動ではなかつた。一方、Vr については、通電后大部分の実験で増大したが、従来^{⑧⑨}と同様法則性が視られなかつた (第1図), (第1表)。

M. rect. fem. については、安静にして疲労しない筈にも拘らず、V/Vr 値は脊髄通電直后、筋直接及び間接測定の何れの場合も、増大して最大値を示し、后



S₁: 陰極脊髄通電 (1250 μ , 4mA, 40分間)
S₂: 陽極脊髄通電 (1250 μ , 4mA, 40分間)

第1図 脊髄通電による人体骨格筋興奮性の変化

陽極通電

m. extensor pollicis longus

被験者	正常値	増加率	恢復時間	Kn及Km
T. M. ♂	1.06	1.00	0分	— 分
Y. A. ♂	1.05	1.00	0	—
H. T. ♂	1.06	1.00	0	—
H. H. ♀	1.05	1.00	0	—
M. O. ♀	1.06	1.00	0	—

n. femoralis

Y. A. ♂	1.06	1.14	10	0.72
T. K. ♂	1.05	1.16	10	0.63
(平均)				(0.68)

m. rectus femoris

Y. A. ♂	1.06	1.15	12	0.80
T. K. ♂	1.06	1.19	12	0.63
(平均)				(0.72)

数値は、各被験者について、3~4回測定平均

第1表 陽極通電の人体骨格筋に対する効果

漸次正常値に戻った。r. t.^③とi. r.^④との間に正比例関係があり、recovery time constant, Km 及びKn^⑤が算出できた。Knは平均0.68分、Kmは平均0.72分でその間に差を認められなかつた(第1表)。

b) 陰極通電

M. ext. poll. long. については、m. rect. fem. の

陽極通電のときと同様、通電終了直后 V/Vr 値は増大し、疲労が観られた。Km の平均は 2.3 分で、上記の約 3 倍の数値を示した(第1図)、(第2表)。

M. rect. fem. については、m. ext. poll. long. の陽極通電のときと全く同様で、通電終了后 V/Vr 値に何等の変動も認められなかつた(第2表)。

陰極通電

m. extensor pollicis longus

被験者	正常値	増加率	恢復時間	Kn及Km
T. M. ♂	1.06	1.06	15分	2.5分
Y. A. ♂	1.05	1.06	14	2.3
H. T. ♂	1.06	1.06	14	2.3
H. H. ♀	1.06	1.07	16	2.3
M. O. ♀	1.06	1.09	19	2.1

(平均)

(2.3)

n. femoralis

T. H. ♂	1.05	1.00	0	—
H. H. ♂	1.05	1.00	0	—

m. rectus femoris

T. K. ♂	1.05	1.00	0	—
H. H. ♂	1.06	1.00	0	—

数値は、各被験者について、3~4回測定平均

第2表 陰極通電の人体骨格筋に対する効果

B 脊髄通電に対する Ach の効果

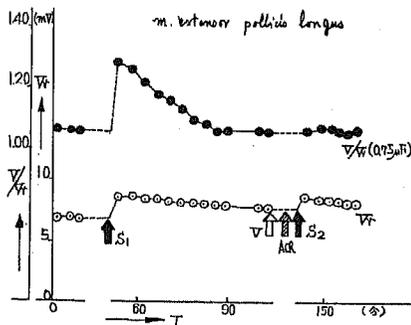
M. ext. poll. long. に対する陰極通電、及び m. rect. fem. に対する陽極通電の二つの場合、通電終了后現れた疲労について、Ach の効果を観た。Ach は 7×10^{-7} g/g (体重) の割合で被験者の上腕外側皮下に注射した。

何れの場合の疲労についても、第2図に示した様に、V/Vr 値は通電后何等の変動も示さず、Ach によつて完全に抑制された(第3表)。

C 「負荷」に対する脊髄通電の効果

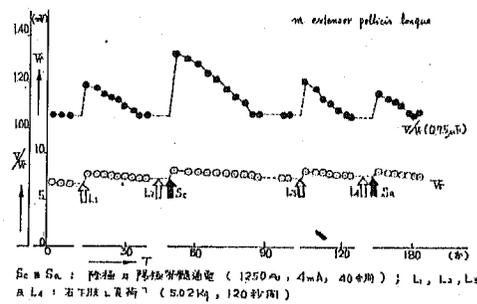
a) 陽極通電と同時に「負荷」の場合

M. ext. poll. long. については、通電終了后 V/Vr 値は増大して最大値を示し、后漸次正常値に戻つた(第3図)。Km は平均 1.7 分で、「負荷」のみのときの Km に等しかつた。i. r. については、一般に減少の傾向が観られたが、特に有意と看做することはできなかつた(第4表)。



S₁ m S₂: 陰極脊髄通電 (1250 μ , 4mA, 40分間); V: プロスチグミン (0.75cc); Ach: アセチルコリン (0.05g)

第2図 陰極脊髄通電による人体骨格筋疲労に対する Ach の効果



S₁ m S₂: 陽極脊髄通電 (1250 μ , 4mA, 40分間); L₁, L₂, L₃ m L₄: 右下肢に負荷 (502kg, 120秒間)

第3図 「負荷」による人体骨格筋疲労に対する脊髄通電の効果

陰極通電

m. extensor pollicis longus

被験者	正常値	増加率	回復時間	対照		Ach 濃度
				Km	増加率	
T.M. ♂	1.06	1.00	0	1.06	2.0	7
Y.A. ♂	1.06	1.00	0	1.06	2.1	7
H.T. ♂	1.05	1.00	0	1.07	2.0	7
H.H. ♀	1.06	1.00	0	1.07	1.9	7
M.O. ♀	1.06	1.00	0	1.07	1.9	7

(平均)

(1.9)

陽極通電

n. femoralis

被験者	正常値	増加率	回復時間	Km	対照 Km	Ach 濃度
H.S. ♂	1.05	1.00	0	1.09	0.75	7
S.K. ♂	1.05	1.00	0	1.07	0.64	7
H.K. ♂	1.07	1.00	0	1.08	0.68	7

(平均)

(0.69)

m. rectus femorir

被験者	正常値	増加率	回復時間	Km	対照 Km	Ach 濃度
H.S. ♂	1.04	1.00	0	1.12	0.73	7
S.K. ♂	1.06	1.00	0	1.19	0.70	7
H.K. ♂	1.06	1.00	0	1.73	0.65	7

(平均)

(0.69)

通電条件: 1250 μ , 2mA, 40分間

第3表 脊髄通電による人体骨格筋疲労に対する Ach の効果

M. rect. fem. については、通電后 V/Vr 値は著明

陽極脊髄通電と「負荷」

m. extensor pollicis longus

被験者	正常値	増加率	回復時間	Km	対照	
					増加率	Km
Y. A. ♂	1.06	1.08	13	1.6	1.09	1.8
H. H. ♀	1.06	1.08	15	2.1	1.11	1.5
M. O. ♀	1.05	1.09	15	1.7	1.12	1.5
Y. M. ♀	1.06	1.11	19	1.8	1.14	1.5
M. S. ♂	1.04	1.08	13	1.6	1.12	1.9
(平均)				(1.7)		(1.6)

m. rectus femoris

被験者	正常値	増加率	回復時間	Km	対照 増加率	対照 Km
Y. N. ♂	1.05	1.15	11	0.73	1.16	0.69
Y. M. ♂	1.07	1.17	11	0.65	1.14	0.79
M. S. ♂	1.06	1.13	11	0.85	1.10	0.85
(平均)				(0.74)		(0.78)

数値は、各被験者について、3~4回測定平均

第4表 陽極通電と同時に「負荷」したときの人体骨格筋疲労

に変動し、疲労発生をみたが、これは i. r. 及び Km のいずれの点についても、「負荷」単独のときの疲労と全く一致した。従つて、通電はこの疲労に対して殆んど無効であつた (第4表)。

b). 陰極通電と同時に「負荷」の場合

M. ext. poll. long. については、通電后 V/Vr 値は増大し、后漸次正常値に戻つた。i. r. は「負荷」単独のときに比較して一般に大きな値を示し、凡そ、陰極通電のみ又は「負荷」単独のときの i. r. の和に相当した数値を示した (第5表)。Km のは平均約 1.7 分で、「負荷」単独のときの Km と等しかつた。

M. rect. fem. については、「負荷」にも拘らず、通電後 V/Vr 値の変動が認められず、当然発生する筈の疲労が、完全に抑制された(第5表)。

陰極脊髓通電と「負荷」

m. extensor pollicis longus

被験者	正常値	増加率	恢復時間	Km	対照	
					増加率	Km
Y. A. ♂	1.05	1.12	20分	1.8	1.09	2.2
H. H. ♀	1.05	1.13	19	1.6	1.10	2.0
M. O. ♀	1.06	1.24	38	1.6	1.13	1.8
Y. M. ♀	1.07	1.23	34	1.7	1.11	1.7
M. S. ♂	1.07	1.22	34	1.7	1.12	1.9
(平均)				(1.7)		(1.9)

m. rectus femoris

被験者	正常値	増加率	恢復時間	Km	対照	備考
Y. N. ♂	1.05	1.00	0	-	1.14	0.64
Y. M. ♀	1.06	1.00	0	-	1.14	0.79
M. S. ♂	1.05	1.00	0	-	1.14	0.79
(平均)				(-)		(0.74)

数値は、各被験者について、3~4回測定平均

第5表 陰極通電と同時に「負荷」したときの人体骨格筋疲労

D 疲労感

上記実験にさいし、脊髓通電の前後を通じて、身体の何れの部位にも疲労感を許した被験者はなかった。

IV 討 論

脊髓通電の効果 一般に、陰極及び陽極通電の何れも、陰極となつた部の近くの骨格筋には、出来るだけ安静にしていたにも拘らず疲労が現れ、一方、陽極に近位の骨格筋では、興奮性の変動がみられなかつた。

脊髓通電と同時に「負荷」したときの疲労では、陰極に近位の骨格筋では、「負荷」単独の疲労と、「通電」のみの疲労の和としての疲労が現れた。然も、その時の Km には変動が認められなかつた。次に、陽極に近位の骨格筋では、「負荷」によつて当然発生すべき疲労が、多少抑制されるか、又は完全に抑制された。

既に、和合^⑦は、この「負荷」による疲労について報告し、この疲労は所謂随意性疲労^⑧であり、Achの

微量によつて完全に抑制出来る transmission fatigue^{①②③④}であつたことを述べている。本実験では、陰極に近位の骨格筋に現れた疲労が、上記と同様 Ach で完全に抑制されたので、全て transmission fatigue であつた。

特に、陽極に近位の骨格筋にみられた疲労抑制作用は、鈴木^{①②③}の脊髓に於ける所謂第三作用に関連するものと思われた。

V 結 論

A 人体について、低周直角脈波電流 (Augospel) を使つて、脊髓部脊面及び腰部脊面に夫々陽極及び陰極を当て(頸部脊面が陽極のときは陽極通電、反対方向のときは陰極通電と称ぶ)、1250~、4mA で30分又は50分間通流し、m. ext. poll. long., n. femoral. 及び m. rect. fem. に現れる興奮性の変動を、0.75μF V/Vr 法によつて測定した。更に、これ等変動に対する Ach の効果、及び「負荷」による骨格筋疲労に対する脊髓通電の影響を追究した。

B 陽極通電では、m. ext. poll. long. に於いては特に有意の変動と看做すことは出来なかつた。

M. rect. fem. の直接又は間接測定による V/Vr 値は、何れも通電直后増大して最大値を示し、后漸次正常値に戻つた。Km は平均 0.70分、Kn は平均 0.70分で、筋に個有と思われる数値が得られた。下肢では Km=Kn の関係があり、和合の不随意性疲労に一致した。

C 陰極通電では、m. ext. poll. long. については、通電直后 V/Vr 値は増大し疲労がみられ、この筋に個有と思われる Km (平均 2.3分) が算出できた。

M. rect. fem. については、直接又は間接測定の何れの時きも、通電后 V/Vr 値に変動が認められなかつた。

D 脊髓通電の直后発生する疲労は、予め anti-cholinesterase (prostigmin) の少量を注射しておき、7×10⁻⁷g/g (体重) の割合で Ach を与えると、全て完全に抑制出来たから、transmission fatigue であつた。

E 脊髓通電と同時に「負荷」(脛骨末端で 5.02kg の重りを支える) すると陽極通電では m. ext. poll. long. に起る筈の疲労は多少抑制され、m. rect. fem.

の疲労は、「負荷」のみよりのときの疲労と一致し、変動が認められなかつた。

陰極通電では、m. ext. poll. long. については、「負荷」のみ及び通電単独のときの和としての疲労が現れ、一方、m. rect. fem. に起る筈の疲労は、通電后完全に抑制された。

后記：攔筆にあたり、和合卯太郎教授に、終始ご懇切なご教導を賜わつたことについて、心から謝意を表します。

文 献

- ①鈴木正夫 (1951) 生理学講座 2-1-B. ②鈴木正夫 (1955) 日本生理誌 17, 223. ③④鈴木正夫 (1956) 電気治療. ④和合卯太郎 (1937) 日本生理誌 2, 91. ⑤和合卯太郎 (1938) Ibid. 3, 225. ⑥和合卯太郎 (1952) 信州大学紀要 2, 17. ⑦和合卯太郎 (1953) Ibid. 3, 105. ⑧和合卯太郎 (1954) Ibid. 4, 121. ⑨和合卯太郎 (1956) 日本生理誌 18, 12. ⑩Rosenblueth, A. & J. V. Luco (1939) Am. J. Physiol. 126, 58. ⑪Rosenblueth, A. & R. S. Morison (1937) Ibid. 119, 236. ⑫del Pozo, E. C. (1942) Ibid. 135, 763.