興 奮 伝 播 性 と 圧 効 果

第 三 編

全 筋 平 等 刺 戟 と 興 奮 性

岡山大学医学部第一生理学教室 (主任 : 林香苗教授)

助 手 長 尾 曉 一

〔昭和 30 年 2 月 1 日受稿〕

〔I〕 緒 言

前報の様に¹⁾, 隔絶電極刺戟法で検べると蛙の剔出骨筋は10~15K. R. 液, 6%酒精-Ringer 液, 6%蔗糖液, 蒸溜水, 1.3%尿素液等に浸すと電流に反応し易くなる。然し同時に興奮伝播性が失われているので, 筋の一部を刺戟して全筋の短縮の様子を伺わしめる様な普通の観察法で検査すると反応が悪くなつた様に見え, 全筋を同時に刺戟する圧迫刺戟では反応亢進の姿が見られるのであるとした。この考えが正しいならば, 全筋に同時に作用する他の刺戟型でも, 圧刺戟と等しく, 前記の様な液に浸した筋の興奮性増進が認められるのではなからうか。そこで圧と同じく筋全体に様に刺戟の加わるものとして一般的に考えられるのは chemical な作用である。又 mechanical な刺戟として超音波がある。そこで今回は筋肉に Acetylcholin 及び超音波を作用させ, それに対する筋の反応性の変動を検討しようとした。但し超音波は蛙の剔出骨筋を短縮させないので, 短縮に陥らず刺戟閾値を示標に用いる事が出来ない。処が筋肉の O₂-消費が超音波で増進する事が判つた故, この増進作用を正常 Ringer 液中と前記液中とで比較する事にした。

〔II〕 実験装置, 方法及び材料

A) Acetylcholin (以下Ach. と略) による検定

剔出蛙直腹筋の一端を固定し, 他端を描

写槓杆に連ね Ringer 液に約30分浸し機械的刺戟による影響が無くなつてから, 10⁻⁶~10⁻⁷ Ach.-Ringer 液を作用せしめ, その短縮曲線を画かしむ。次に筋を十分に Ringer 液で洗い去り 10~15 K. R. 液, 6%酒精 Ringer 液, 6%蔗糖液, 水及び1.3%尿素液に浸し, 一定時間上記薬液を作用させた後, 再び同一濃度の Ach.-Ringer液にて筋の短縮曲線を画き, 最初の Ach.-Ringer 液の短縮曲線と比較検定した。

B) 超音波刺戟による筋肉O₂-消費量の測定

O₂-消費量の測定は水中酸素の定量に用いられる Winkler 氏法による (方法の詳細は Müller²⁾, 佐藤³⁾による)。即ちトノサマ蛙の縫工筋3~5匹分の左右を用いてE (超音波作用群) とK (対照群) に分ち, E及びKを5ccの予めO₂を飽和せる薬液, 或いは Ringer 液に浸し一定時間後の酸素量と最初のRinger 液の酸素量との差を以てE及びKのO₂-消費量となし, 筋重量 (乾燥重量mg) に換算した。Winkler氏法に用いるN/100チオ硫酸ソーダ1ccはO₂の0.08mgに相当している所以O₂-消費量はN/100チオ硫酸ソーダのccで表わす事が出来る。

次に超音波曝振作用中特に留意しなければならぬのは熱作用であり, 之を除去するために超音波発生装置の油槽内にガラス管パイプを通じ之に水道水を放流し, 油液の温度上昇を阻み, 一方被検物を入れた小試験管はビーカー中に水を充たし, この中に立てゝ超音波

曝振を加えた。この様にして特に温度変化に留意し、対照との温度差を出来るだけ少くし、 $\pm 0.8^\circ\text{C}$ 以内にとどめた。超音波曝振時間は10分間でその後10分間室温に放置し筋を取り出した後、該液と対照液の O_2 -含量をWinkler氏法により測定した。

超音波発生装置は島津製作所製の水晶板音源(水晶板厚さ4mm)を用いた周波数750K. C. のもので1,000 V, 100 mAで10分間曝振を行った。

尚実験 Data の検討には全て推計学的に判定を下した。

本実験は29年10月より30年3月迄に行つた。

〔Ⅲ〕 実験成績

第1図 10K. R. 液(左)及び15K. R. 液浸漬筋の Ach. に対する反応(3分間)

2) 6% Alkohol-Ringer 液

この場合には3分, 5分, 7分, 何れも対

照に比し著しく興奮性の増加を示す(第2図)。

第2図 6%Alkohol-Ringer 液浸漬筋の Ach. に対する反応(3分間)

3) 6%蔗糖液

この場合には3分, 5分何れもよく Ach.

に反応している(第3図)。

第3図 6%蔗糖液浸漬筋の Ach.
に対する反応 (3分間)

4) 1.3%尿素液

尿素液に3分, 5分, 7分間浸した場合は3分間のものが最も著しい (第4図).

第4図 1.3%尿素液浸漬筋の
Ach. に対する反応 (3分間)

5) 水

本液に筋を浸すと直ちに水収縮をおこし, 著しく短縮するため精細な比較は困難であるが, それでも1分及び2分間浸したものは僅かに興奮性増加が認められる (第5図).

第5図 水浸漬筋 (1分間) の Ach. に対する反応

扱て上記各液に浸した筋 (3分間) の短縮曲線を基線との短縮角度 (最大角度) を以て測定し, 10^{-7} 濃度の Ach. に対する被検筋の反応とこれと同一反応を呈する Ach. 濃度を検するにその感度変化は第1表の如くなり, 通覧するに6%酒精 Ringer 液, 15 K. R. 液, 10 K. R. 液, 1.3%尿素液, 6%蔗糖液, 水の順で何れも対照に比し Ach. に対し強く反応する事を認めた. 更に Ach. に対する感度変化をその濃度比で求むると次の如くなる. 10 K. R. 液では2倍, 15 K. R. 液では2.2倍, 6%酒精-R. 液では2.4倍, 6%蔗糖液では1.5倍, 1.3%尿素液では1.6倍, 水では1.04倍となつている (第1表).

第1表 各液浸漬筋の Ach. (10^{-7})
に対する感度変化

溶 液	浸 漬 時 間	各液浸漬筋の同一 反応を呈す Ach. 濃度 (平均)	濃 度 比
10. K. R. 液	3分	5.1×10^{-6}	2.0
15. K. R. 液	3分	4.6×10^{-6}	2.2
6%酒精 R 液	3分	4.4×10^{-6}	2.4
6% 蔗 糖 液	3分	6.6×10^{-6}	1.5
1.3%尿 素 液	3分	6.1×10^{-6}	1.6
蒸 溜 水	1分	8.8×10^{-6}	1.04

B) 超音波曝振時の筋肉 O_2 -消費量

a) 基礎実験

15 K. R. 液, 6% Alcohol-Ringer 液, 6%蔗糖液, 蒸溜水及び1.3%尿素液の各々に蛙縫工筋を浸し, 対照 Ringer 液中に浸した筋との O_2 -消費量を比較するに第2表の如き結果を得た. 即ち何れの液の場合にも O_2 -消費量は対照群に比し増加し, E/Kは最大水の平均2.4から最小は15K. R. 液の1.2となり何れも1より大となつている (第2表).

第 2 表

溶 液	時 間	O ₂ -消 費 量		E/K	例 数
		N/100チオ硫酸ソーダ滴定量 cc (mg換算)			
15. KCl-Ringer	10 Min.	1.68 $\geq$ E $\geq$ 0.94	1.30 $\geq$ K $\geq$ 0.80	M $\pm$ m 1.2 $\pm$ 0.09	n= 9
6% Alkohol- R.	10 Min.	1.94 $\geq$ E $\geq$ 1.14	1.18 $\geq$ K $\geq$ 0.76	M $\pm$ m 1.7 $\pm$ 0.22	n=10
6% Sacb.-Sol.	10 Min.	1.67 $\geq$ E $\geq$ 1.15	1.29 $\geq$ K $\geq$ 0.71	M $\pm$ m 1.6 $\pm$ 0.13	n=10
Water	10 Min.	2.96 $\geq$ E $\geq$ 1.87	1.44 $\geq$ K $\geq$ 0.72	M $\pm$ m 2.4 $\pm$ 0.23	n= 8
1.3% Urea-Sol.	10 Min.	1.74 $\geq$ E $\geq$ 1.14	1.28 $\geq$ K $\geq$ 0.86	M $\pm$ m 1.4 $\pm$ 0.07	n=10

b) 超音波曝振作用

平均1.3倍増加している。

1) Ringer 液中に蛙縫工筋を浸し超音波曝振10分後更に室温に10分放置後、同時間 Ringer 液中に浸した筋との O₂-消費量を比較した。その成績は第3表に掲げる如く、超音波作用群は対照群に比し O₂-消費量が

2) 15K. R. 液, 6% Alkohol-Ringer 液, 6% 蔗糖液, 蒸溜水, 1.3% 尿素液の各々に蛙縫工筋を浸し超音波曝振群と対照群を比較するに第3表に示す如く、何れも対照の1.3~1.4倍の O₂-消費の増加を示している。

第 3 表 超音波による場合

溶 液	時 間	O ₂ -消 費 量		E/K	例 数
		N/100チオ硫酸ソーダ滴定量 cc (mg換算)			
Ringer's Sol.	10 Min.	3.49≥E≥2.13	2.92≥K≥1.60	M±m 1.3±0.08	n=10
15. KCl-Ringer	10 Min.	3.90≥E≥1.58	2.96≥K≥1.08	M±m 1.4±0.06	n=10
6% Alkohol-R.	10 Min.	3.25≥E≥1.22	2.29≥K≥0.86	M±m 1.4±0.09	n= 8
6% Sacc-Sol.	10 Min.	3.06≥E≥1.56	2.63≥K≥1.37	M±m 1.2±0.06	n= 9
Water	10 Min.	3.81≥E≥2.38	3.24≥K≥1.74	M±m 1.3±0.08	n=10
1.3% Urea-Sol.	10 Min.	3.01≥E≥1.72	2.47≥K≥1.33	M±m 1.3±0.08	n=12
		95% 信頼限界. 単位 10 ⁻³ cc			

C) 推計学的考察

B) 項 a), b) の各々の成績を推計学的に調べるに、何れも対照と比較するに1~5%以下の危険率を以て有意の差を認めた。第2表並びに第3表にはN/100チオ硫酸ソーダ滴定量を筋重量 (mg単位) に換算した O₂-消費量を95%の信頼限界で示してある。

〔Ⅲ〕 考 按

前報来述べて来た如く、10~15 K. R. 液, 6% 酒精-Ringer 液, 6% 蔗糖液, 蒸溜水, 1.3% 尿素液に筋を浸すと筋の興奮伝播性は失われ、筋の一部を刺戟して全筋の短縮を知る様な普通の電気刺戟観察では筋の興奮性が悪くなった様に見える。然し隔絶電気刺戟法では閾値の下降が認められ、又全筋を同時に刺戟する圧迫刺戟では反応亢進の姿が見える

そこで全筋に同時に作用する型の刺戟として chemical なものの代表として Acetylcholin を、又 mechanical なものとして超音波を用いれば上記諸処置を受けた筋にて、圧迫刺戟同様その興奮性増加の様相が認められるかどうかを調べてみたのである。

先ず Acetylcholin に就いてであるが、Wachholder⁴⁾ によると Acetylcholin の働きは Ca により弱められ、K で増強されると述べている。著者の実験もこの事実を裏書きするもので10~15K. R. 液に浸した筋は Ach. に敏感に反応し興奮性の増加を如実に証明している。更に6% Alkohol-Ringer 液, 6% 蔗糖液, 1.3% 尿素液に浸した筋も Ach. に非常に鋭敏に反応する事を示している。即ち対照と等しき濃度の Ach. に対し鋭敏に短縮し、その程度は6% 酒精 Ringer 液を最高に、

以下15K. R. 液, 10K. R. 液, 1.3% 尿素液, 6% 蔗糖液, 水の順となつている。蒸留水に浸した筋は既に水収縮を起し或る程度短縮を起しているが尚且つ Ach. に対し微弱乍ら興奮性の増加を認めるのである。これ等の事実よりしても全筋を同時に刺戟する chemical な作用では反応亢進の状態が認められるのである。

次に mechanical な一刺戟型として超音波について検討してみよう。超音波の筋肉に及ぼす影響に就いては余り研究されていない。というのは超音波作用に直接筋肉を短縮せしめるという事がないからである。著者も予備実験として試みてみたが筋の短縮は来さなかつた。然し筋に超音波を作用させてその際の筋肉の O_2 -消費量を観察すると、蛙から剔出した正常 Ringer 液中の縫工筋は、実験成績第3表に示す如く、何れも超音波により増加し平均1.3倍の O_2 を消費している事が判明した。即ち加圧の様に周囲から平等に刺戟の加わる方法をとると筋は未だ短縮を起していなくても O_2 -消費量の増加という面よりみて、筋肉の興奮性が亢進していると思われる。

又実験A) にて圧に対し反応し易く電気刺戟に反応し難くなる液に浸した場合には、既に筋肉は O_2 -消費の面よりみても興奮性の増加している事が判る。換言すれば此処に於ても前報で述べた如く筋肉は非伝播性になつており、従つて全体として O_2 -消費量も多くなつていのである。今15K. R. 液, 6% 酒精-Ringer 液, 6% 蔗糖液, 水, 1.3% 尿素液の各々の場合を比較検討してみるに、先ず一番 O_2 -消費量の多いのは蒸留水である。之は明かな如く水収縮を起すためである。即ち筋肉を水に浸すや否や活潑な律動性の短縮をなし始める故最も O_2 -消費量の多い事も頷けられる。次に Alcohol-Ringer 液, 蔗糖液の場合も同様に筋肉は自発性の短縮を起す故 O_2 -消費量が増加しており、その他の15KCl-Ringer 液, 1.3% 尿素液の場合でも対照の Ringer 液のものに比し1.2~1.4倍の O_2 -消費量を示し

ている。斯の如く上記各液に筋を浸すと何れも筋は非伝播性とはなつていのであるが、 O_2 -消費量の面から考えると筋肉の興奮性は増加しているのである。

次に上記各液に浸した縫工筋の一群に超音波を作用させ、他群を対照として比較するに大体1.3~1.4倍の割で超音波作用群の方の O_2 -消費が増加している。之は丁度 Ringer 液中のものに超音波を作用させた場合と殆ど同じ割合の O_2 -消費の増加である。翻つて前報報告の如く非伝播性液に浸した筋は圧により対照 Ringer 液中のものより非常に反応し易くなつていのである。それでこの場合も超音波を作用させた群と無処置の Ringer 液のものとの比較が愼しいのである。そこで各液に浸して超音波を作用させた群の O_2 -消費量と無処置の Ringer 液中に浸した筋の O_2 -消費量を比較する事が許されるならば、Ringer 液中の筋が超音波により1.3倍に増すのに比し、15K. R. 液では $1.2 \times 1.4 = 1.68$ 倍, 6% 酒精 R 液では $1.7 \times 1.4 = 2.38$ 倍, 6% 蔗糖液では $1.6 \times 1.2 = 1.92$ 倍, 水では $2.4 \times 1.3 = 3.21$ 倍, 尿素液では $1.4 \times 1.3 = 1.82$ 倍となる。換言すれば Ringer 液中の筋に超音波を作用させたものよりも非伝播性溶液に浸した筋に超音波を作用させたものの方が O_2 -消費量が多い。即ちこの場合にも反応亢進の状態が認められるのである。

(V) 結 語

全筋平等刺戟方法として Acetylcholin 及び超音波を筋肉に作用させた際の筋の興奮性の変動を追求し次の成績を得た。

1) 10~15K. R. 液, 6% 酒精-R 液, 6% 蔗糖液, 蒸留水, 1.3% 尿素液 (非伝播性溶液) に蛙直腹筋を浸すと筋は何れも Acetylcholin に対し鋭敏に反応する。

2) 上記非伝播性溶液に蛙縫工筋に浸し一定時間後の O_2 -消費量を測定するに、何れも対照 (Ringer) に比し2.4~1.2倍の O_2 -消費の増加を認めた。

3) Ringer 液中に浸した蛙縫工筋に超音

波を作用させると対照（超音波を作用させない群）に比し1.3倍の O_2 -消費の増加を示す。

4) 非伝播性溶液に蛙縫工筋を浸し一定時間超音波を作用させたものと、Ringer 液中の筋に超音波を作用させたものを対照（Ringer 液中で無処置のもの）と比較するに、非伝播性溶液に浸し超音波の作用を受けたものが Ringer 液中で超音波の作用を受けたもの

のより O_2 -消費量は増加している。

5) 以上の事実より、圧刺戟の如く全筋に平等に作用する型の刺戟に由り、譬え筋の興奮伝播性は失われているも、その場その場に於ける興奮性は増加している、いわば興奮性と伝播性が離反している場合が証明される。

擧筆するに当り終始御懇篤なる御指導と御校閲を賜わつた恩師林教授に謹みて感謝の意を表わす。

文 献

1) 長尾曉一；本誌。

2) Müller Abderhalden's Handbuch d. biol. Arbeitsmeth. IV. Teil. 10, 93, 1926.

3) 佐藤直泰；岡医誌，第53年，612号，34，1941.

4) Wachholder：Pflüger's Arch. Bd. 232, 159, 1933.

Department of Physiology, Okayama University Medical School.
(Director Prof. Dr. K. Hayasi)

Propagation of excitation and action of strong hydrostatic compression. Response of the muscle uniformly stimulated from its surrounding. (III)

By

G. Nagao

When a muscle is stimulated uniformly from its surrounding with acetylcholine or ultrasound wave, its excitability increases but the propagation of its excitation wave fade away.

In other words, the muscle stimulated equally from its surrounding like by compression reacts easily by irritability of each muscle fiber, although the conduction of excitation is disturbed.