

Vol. 14, No. 1

April 1952

JOURNAL OF THE PHYSIOLOGICAL SOCIETY OF JAPAN

日本生理學雜誌

第 14 卷 第 1 號

昭和 27 年 4 月 1 日 發行

原 著

安 藤 毅: 神經並に筋に於ける直流通流電極作用の研究.....	1
内村俊雄・宮原長和・菅谷享三: 麻醉した 1 絞輪を越えての跳躍傳導に関する研究 (第 1 報) 剔出單一神經纖維について	10
内 村 俊 雄: 麻醉した 1 絞輪を越えての跳躍傳導に関する研究 (第 2 報) 生体内單一神經纖維について	15
内 村 俊 雄: 麻醉した 1 絞輪を越えての跳躍傳導に関する研究 (第 3 報) 麻醉薬による興奮傳導順序の逆轉現象について	21
川 田 深 太 郎: 通電による骨格筋線維の短縮性の回復について	24
川田深太郎・町田都乎: 子宮筋の変形電位について	33
川 口 国 臣: 塩縮外液に筋より塩縮抑性物質の出る機制に関する研究	35

日 本 生 理 學 會

略名・日本生理誌
Nihon Seiri. Z.
J. Physiol. Soc. Jap.

Comp. Rutin

— KOWA —

本劑の特長

黃芩・黃連・大黃含有

- 1 血管脆弱の恢復作用が大
- 2 血壓降下作用や自覺症の改善が著明
- 3 高純度結晶を使用し、連用しても副作用は殆んど無い
- 4 量産化成功により價格は低廉 (文献贈呈)

高血圧・腦溢血・予防治療劑



— 包裝の價格 —

末	25g	830円
	100g	1200円
錠	30錠	120円
	100錠	350円

複合ルチン

コーワ

製造元 興服産業株式会社

販賣元

株式会社

中村瀧商店

東京・日本橋本町三

★ 萬有の医薬品 ★

肺炎・梅毒・淋病・化膿性疾患

ペニシリン

油性・水性・軟膏・錠劑
結晶G・ミックス・壓坐藥

驅 梅 劑

ネオエラミゾール

靜脈注射劑

驅 梅 劑

ミオエラミゾール

筋肉注射液

驅 梅 劑

オスワルサン

内服606號

結核化學療法劑

ジェンパス

(P A S)

肝臓障害・解毒劑

パンチオニン

メチオニン

神経痛・ロイマチス

ギトーザン

キノフェン注射液

局所麻酔劑

パンカイン

鹽酸プロカイン



Banyu

東京・大阪 萬有製藥株式会社 岡崎・札幌

神経並びに筋に於ける直流通流電極作用の研究

612.816.1
612.741.63

Studoj pri efikoj de trafliugaj elektrodoj de konstanta kurento ĉe nervo kaj muskolo.

安 藤 毅 (Ando-Takeshi) *

緒 論

被刺激性形体に於ける直流通流電極作用として従来最も有名なものは、電気緊張と呼ばれ数多く観察されて来た。然し本電極作用は、物理学的なると生理学的なるとを問わず、直流の強さ及び時間に従い現象は複雑に変化するもので、いわゆる電気緊張の記載には著しい混雑がある。これに対して穏当なる考え方としては、電気緊張とは強からざる通流の短時間に於ける作用であり、細胞限界膜の分極作用自身に因るものである。即ち生理学的には陰極性分極により、それぞれ刺激作用を助長及び妨害して、陰極下にて閾値が低くなり、陽極下にて高くなるのである。これに較べ通流が強い永いときは、いわゆる鈴木¹⁾の通流電極の第3作用が現れ、電極下限界膜の透過性を変化せしめて、陰極附近では分極性低下、陽極附近ではその増大が起る。これは既に物理学的に A. Bethe¹⁾, U. Ebbecke²⁾, E. Mackuth³⁾, W. S. Woronzow¹⁷⁾, U. Ebbecke³⁾, K. Hecht⁵⁾, 鈴木¹⁴⁾, 三浦⁷⁾により観察された。この第3作用のために、生理学的には電極附近の閾値が電気緊張とは正に反対に変化するのであつて、陰極にて上昇陽極にて低下を來たす。この変化は特に陰極で著しく (Werigo¹⁶⁾の抑圧的陰極作用) 多くの学者により種々考察された。Scheminzky¹⁰⁾の轉換効果は陰極と共に陽極における興奮性変化に相当し、また陽極には復旧的陽極作用が名づけられている (Ebbecke¹⁾ 798 頁)。しかし陽極第3作用による閾値の上昇は、適当な方法によれば容易に観察でき、既に杉¹¹⁾は筋にて60分通流し直後は従前の電気緊張同様の変化を見るが、それより直ちに閾値は陰

極下にて上昇、陽極下にて下降を大体指数函数様に始め、10分ほどにして正常値を超えるのを見た。たゞし彼はこの変化をこそ電気緊張と考へしとしている。山中¹⁸⁾も大体同様の成績を挙げている。本教室における坂本⁸⁾は通流第3作用の、神経における強さ及び強まり要素に対する作用を検討し、第3作用を純粹に見るためいわゆる中断法 (下を見よ) を考案して、3.5 時間通流にて陽極下の基電流下降を陰極下の上昇と共に明確に示し得た。しかし陽極下の下降は陰極下の上昇に比してはるかに程度が小さい。我が教室に於てはこの通流第3作用を、生体興奮性に対する最適の実験的環境條件として取扱つている (鈴木¹⁵⁾)。私は大体杉と同様の方針の下に、いわゆる電気緊張期より第3作用発展の経過に従う、閾値の変化を神経及び筋に於て追跡したのである。そして坂本の重合刺激法と、刺激直前短時通流中断法とを併用して、電気緊張と第3作用の関係を解明することができた。

Ⅱ. 実験方法

実験材料はトノサマガエル¹⁾の坐骨神経腓腹筋標本及び縫工筋標本を用い、それぞれ液体電極箱 (鈴木¹³⁾)、または隔絶箱 (杉¹¹⁾) に装置した。神経、筋両者とも感応コイル開放電撃と直角電圧による閾値変化のいずれをも観察した。感応コイルには Zimmermann の堅型のものを用い、直角電圧脈のためには東式ペンデル (15 msec) を用いた。亜鉛不分極を用いて通流、刺激共に同一電極を通じ、刺激電圧にては、常に横杆に近い側を陰極とし、この側に陰極または陽極通流を与えて、閾値の変動を見たのであつた。電極箱は二重流水恒温箱中に入れ実験中温度を一定 (16°C) に保つた。実験配線は大体

* 千葉医科大学生理学教室

杉¹¹⁾、山中¹⁸⁾に従い刺激回路と通流回路とを直列に同一電極によつて電極箱に通ずる。通流回路の主路を開閉して、通流を与えまたは中断する。重合刺激法にては、それを閉じたまま感応コイル或いはペンデルの常法に従つて刺激を与えるのだが、刺激直前通流短時中断法にては、先ず通流主路を開きて直ちに上記の刺激をなした直ちに通流主路を閉じる。そして30秒通流して次の刺激をするのである。同一例にて重合、中断両法を併用する場合は、先ず重合法にて閾値を決定し、続いて中断法にて閾値を求める。

Ⅲ、実験成績

神経、筋両方につき詳細に実験したが、紙面の関係上、神経の場合を主体として述べることにする。

A) 感應電撃刺激による実験

1) 重合刺激法 i) 通流陰極の影響

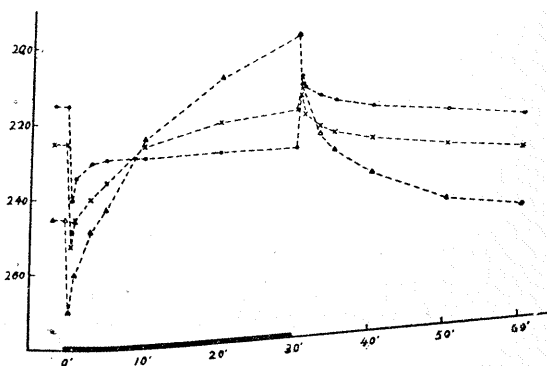
通流電圧 0.1, 0.2, 0.3 V の場合の各1例を第1図に示す。縦軸には感応コイルのコイル距離をそのまま盛る。閾値は通流直後瞬間的に下降して、後ほど指数函数的に上昇する。通流電圧小なるときは元の閾値に返らぬが、0.2V にては10分、0.3V にては5分内外にて正常閾値を超えて上昇する。殊に 0.3, 0.4V にては上昇極めて急峻である、通流を断てば 0.1, 0.2V においては閾値は瞬間更に昇り 0.3, 0.4V にては急に下り、その後はほど指数函数的に下降する。

ii) 通流陽極の影響

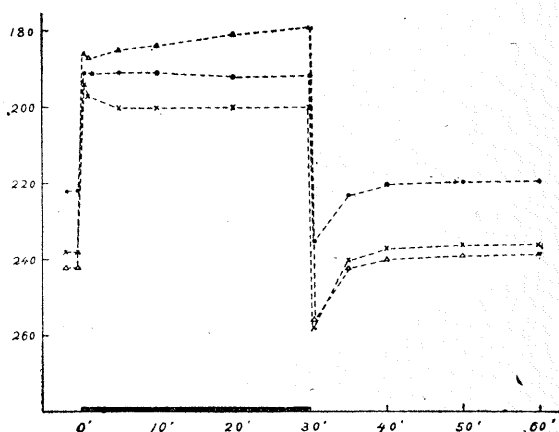
通流電圧 0.1, 0.15, 0.3V の各1例について第2図に示すが、通流電圧何れにありても、閾値は通流開始後直ちに上昇し、その後大体その高さに止まる。通流電圧小なるときは直角的に同高を保つが、やゝ大にて尖りを示す。後期には低下より上昇の傾向を示し、電圧と共に著しくなる。更に電圧大にて、凸形に始まる緩かな上昇を示す

(第6図参照)。通流を断つと直ちに閾値は正常値より遙に低下し、次いでほど指数函数的に上昇し、約5~10分で正常値に復する。

2) 刺激直前通流短時中断法 i) 通流陰極



第1図 重合法通流陰極
通流電圧 ●— 0.1V ×— 0.2V △— 0.3V



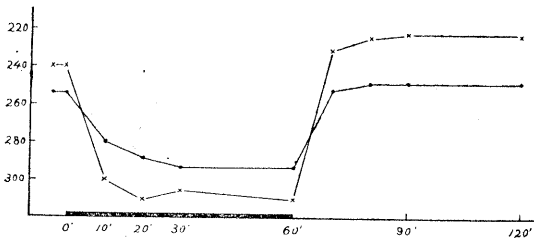
第2図 重合法通流陽極
通流電圧 ●— 0.1V ×— 0.15V △— 0.3V



第3図 中断法通流陰極
通流電圧 ●— 0.2V ×— 0.3V △— 0.4V

の影響

第3図には例として通流電圧 0.2, 0.3, 0.4V の各1例を示すが、通流の時間中閾値は上昇し、電圧大なるほど上昇は速いである。経過は大体指数函数形に近いが、電圧小なるときは一定値を保つた後また急に昇る。電圧大なるときは続いて高値に至るので通流を中止した。この場合上昇は屢々直線形に近いことがあつた。通流を断つと閾値は大体指数函数形に下降する。



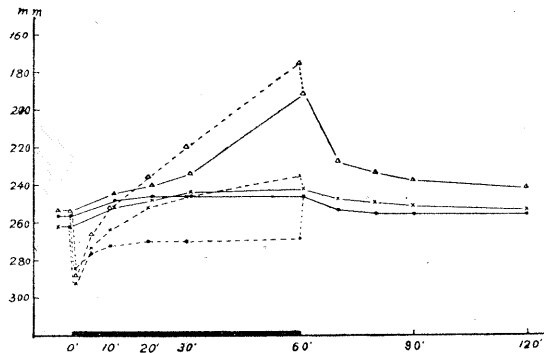
第4図 中断法通流陽極
通流電圧 ●—0.2V ×—0.4V

ii) 通流陽極の影響

通流電圧 0.2, 0.4V の各1例を第4図に示すが閾値は大体指数函数的に下降する。通流電圧大なるほど下降の速さも大きさも大である。通流末期では却つて上昇に傾く例もある。(第6図参照)。通流を断つと急に上昇して約10分後に正常値に戻る。

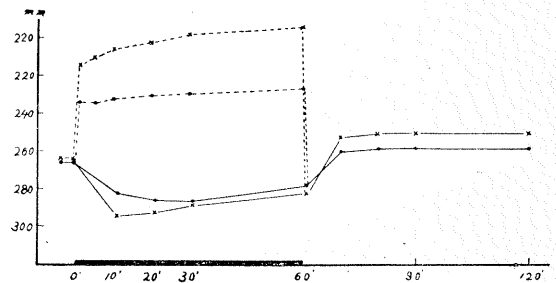
3) 重合法, 中断法の併用 i) 通流陰極の影響

通流電圧 0.1, 0.2, 0.3V の各1例を第5図に示すと、前2節における成績を大体に



第5図 重合法並に中断法通流陰極
通流電圧 ●—0.1V ×—0.2V △—0.3V
実線—中断法 点線—重合法

において再現する。重合法にての上昇は、大体において中断法にての上昇より急峻である。通流電圧小にては差少く、通流期間の後半の両上昇曲線がほぼ平行するが、電圧大なるに従つて差が大となり、両曲線は交叉するに至る、更に大なる電圧にては交叉は早期に起り、期間後半にては重合曲線が中断曲線の上方で両者平行する。この交叉の点については筋の場合と著しい差異を示し、筋にてはどの強さの通流にても両曲線は交叉せず、全期に互り殆んど平行する。即ち重合法において閾値が如何に高くなつても、通流を断つた場合瞬間的な閾値上昇が認められるのである。神経にては通流電圧の大なときは、通流末期の両曲線の上下関係が通流電圧小のときと反対になるが、その何れにおいても、通流開放に際しての重合法閾値の突然の変化は、中断法閾値への変化なることが、この直接比較にてよく了



第6図 重合法並に中断法通流陰極
通流電圧 ●—0.1V ×—0.3V

解されるのである。

ii) 通流陽極の影響

通流電圧 0.1, 0.3V の各1例を第6図に示すが、いずれの場合も両法単独の場合と同様の変動が認められ、両者の直接比較により、その経過の意味を明かにし得る。

以上は神経に於ける実験の結果であるが、筋にても大体同様な閾値の変動が認められた。筋の一端(隔絶小房に突出する部分)を切断して実験しても、切断せぬ場合と殆んど類似の結果であつた。たゞ3-iにて述べた陰極通流末期の重合法閾値の高さ

の差異以外に中断法陽極通流の成績にて差異を見た。即ちこの場合は神経の如き閾値の低下が見られず、却つて陰極通流と同様の上昇が見られた。

3) 直角電圧刺激による実験

1) 重合刺激法 i) 通流陰極の影響

通流電圧 0.1, 0.2, 0.3V の各 1 例を第 7 図に示す。本図以後にては縦軸は 15msec の刺激直角電圧脈の閾値である。図の如く閾値の変動は感應電撃刺激に於けると殆んど同様であるが、たゞ閾値上昇の経過において通流電圧大なときは凹みの階段が現れる (第 11 図参照)。

ii) 通流陽極の影響

通流電圧 0.05, 0.1, 0.2V の各 1 例を第 8 図に示すが、大体感應電流に於ける実験成績と類似の成績を得た。

2) 刺激直前短時通流中断法 i) 通流陰極の影響

第 9 図に通流電圧 0.05, 0.1, 0.2V の各 1 例を示す。通流電圧小なる場合は、通流直後より閾値は漸次上昇し大体指数函数的である。が電圧やゝ大のときは 60 分の通流の最後に閾値の上昇が幾分再び著明になる。電圧更に高き場合には、通流初期の上昇が少いか下降さえして後期の上昇のみ著しくなる。

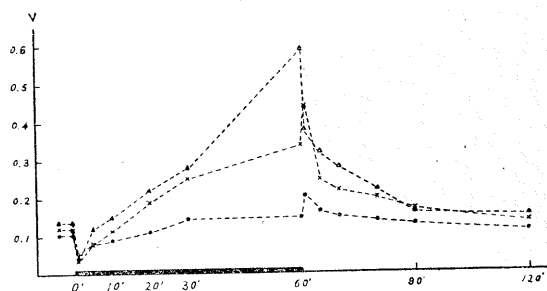
ii) 通流陽極の影響

通流電圧 0.05, 0.1, 0.3V の各 1 例を第 10 図に示す如く、大体感應電撃刺激のときと同様の变化を見る。

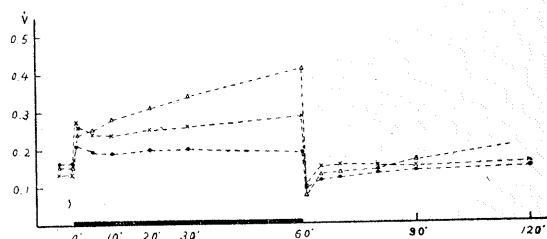
3) 重合法、中断法の併用 i) 通流陰極の影響

通流電圧 0.1, 0.2, 0.3V の各 1 例を第 11 図に示す。大体重合法、中断法で単独に測定した時と同様の变化がみられ、また感應電撃刺激のものと大体類似し、そのとき述べたことがこゝでも妥当する。たゞ 2-i にて見た高電圧通流の初期における閾値の低下 (乃至上昇の遅延) の傾向が、重合法における閾値上昇の途中の凹みの階段を作

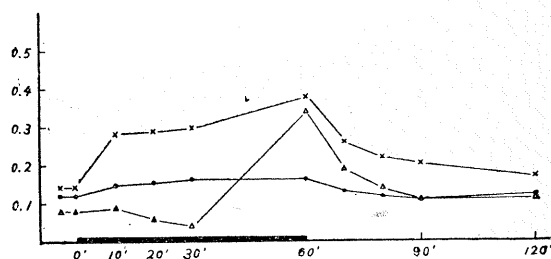
ることに相当することが観取される。また感應電撃刺激においては重合と中断の両曲線が、高電圧通流後期にてよく平行したが、本刺激にては重合の方が急峻なる経過を示す。



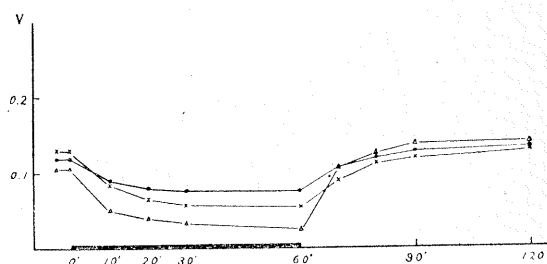
第 7 図 重合法通流陰極
通流電圧 $\bullet$ —0.1V, $\times$ —0.2V, $\triangle$ —0.3V



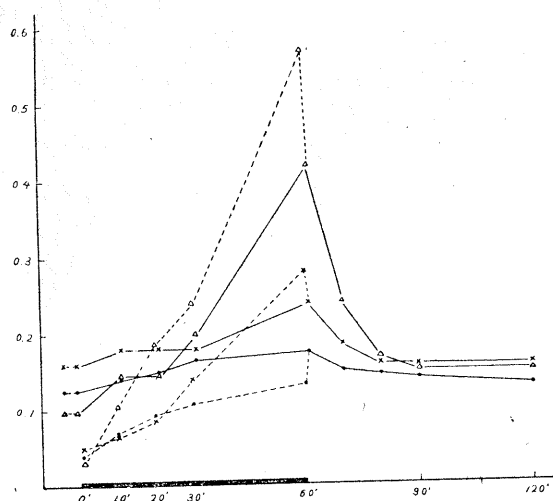
第 8 図 重合法通流陽極
通流電圧 $\bullet$ —0.05V, $\times$ —0.1V, $\triangle$ —0.2V



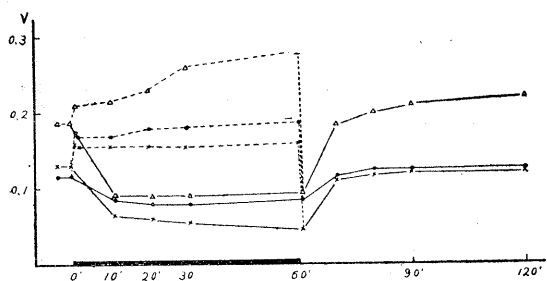
第 9 図 中断法通流陰極
通流電圧 $\bullet$ —0.05, $\times$ —0.1V, $\triangle$ —0.2V



第 10 図 中断法通流陽極
通流電圧 $\bullet$ —0.05V, $\times$ —0.1V, $\triangle$ —0.3V



第11図 重合法並に中断法通流陰極
通流電圧 $\bullet$ —0.1V, $\times$ —0.2V, $\triangle$ —0.3V



第12図 重合法並に中断法通流陽極
通流電圧 $\bullet$ —0.1V, $\times$ —0.2V, $\triangle$ —0.3V

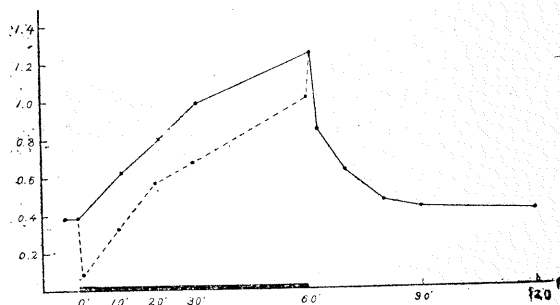
ii) 通流陽極の影響

0.1, 0.2, 0.3V の各 1 例を第12図に示す。やはり重合法, 中断法單獨で測定した場合と大体同様の閾値変動が相並んで見られて, その間の関係の了解されること感應電撃に於けるものと同じである。

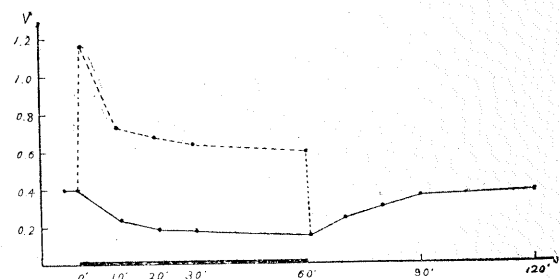
4) 筋における所見

筋においては, 感應電撃刺激にては前述の如く大体神経と同様の所見を示し, たゞ中断法陽極通流にて偏異した成績を示した。然るに直角電圧刺激にては神経の場合よりも更に美しい一貫した所見を呈する。即ち重合法陰極通流にて通流を断つとき, 神経では通流電圧一定の高さ迄は, それまで上昇していた閾値が瞬間的に上昇し, 一定以上の電圧では急に下降し, 続いて徐ろなる下降に移る。しかるに筋では通流電

圧いかに高くとも, 十分に上昇した閾値は通流開放に際し, 一旦急激に一定度上昇した後に指数函数的な下降を示す。尤もこれは感應電撃刺激でも同様であつて A-3-i でも述べたところである。次に重合法陽極通流にて, 神経においては最初上昇した閾値が減少を始めても, 尖りを作るだけで水平に移り, または更に徐ろに上昇さえもする。高電圧ではその尖りさえ明かでなくなる。しかるに筋にては一旦上昇した閾値は通流期間中大体指数函数的に減少を続ける。杉¹¹⁾はこの際正常値以下への下降を見ているが, 私は最小の通流電圧 0.1V においても正常値以下へ下る例を見なかつた。中断法においては陰極通流にて閾値の上昇著しく, 高電圧にては最初より著しく上昇する。そして重合, 中断を同一例にて実験すれば両曲線の平行が美しく, これにて重合法, 中断法單獨の所見をもよく示す。また全体として通流の強さによる性質的の変化が少いので, こゝにはこの例各 1 例ずつを図示することとする (第13, 14図)。



第13図 重合法並に中断法通流陰極
通流電圧 0.2V



第14図 重合法並に中断法通流陽極
通流電圧 0.3V

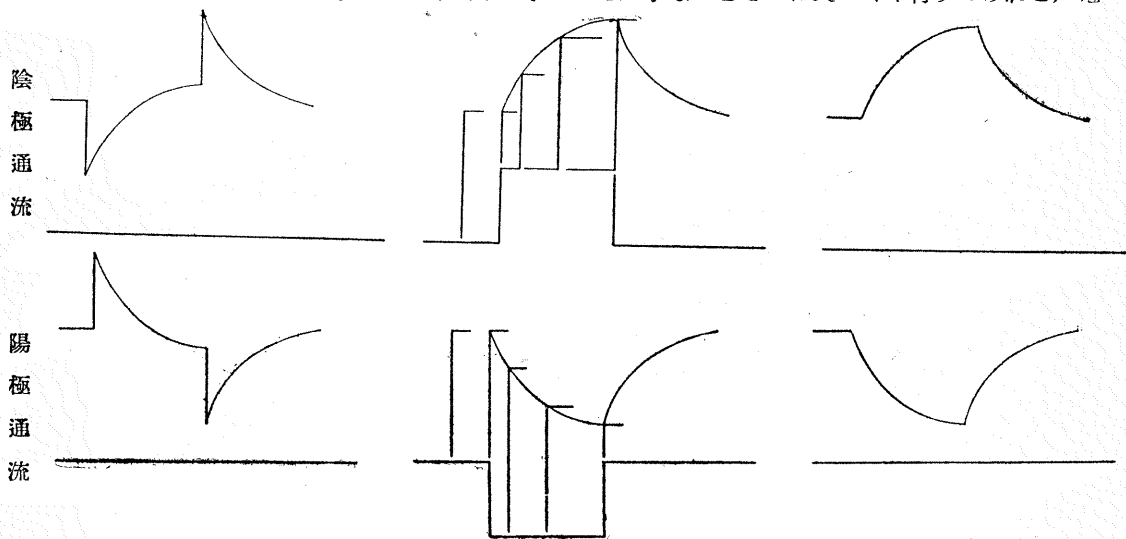
IV. 考 察

私は神経並びに筋にて、感応電撃及び直角電圧刺激で測る閾値変化につき、通流直後から大体60分間の直流通極または陽極作用の経過を検討した。そしてその際いわゆる中断法を重合法と並用して実験した。この中断法は坂本⁸⁾の通流第3作用検討の際の案出に係り、従来の重合法における陽極作用の下閾値の過大の上昇が、検討せられる電流刺激の通流陽極開放による隠蔽によるかとの恐れより、通流を短時中断して刺激することが提唱されたのであつた。通流陽極は勿論陰極においても、分極そのものの存在乃至その消失が刺激作用に及ぼす影響と、第3作用即ち膜の分極性の変化が刺激作用に及ぼす影響とを、共に示すのが重合法であり、前者を除外して後者のみを示すのが中断法である。この意味の中断法のためには、中断より刺激に至る(馴れれば10-1秒の次序の)時間の通流中断が、既存の透過性変化(第3作用)を大きく変化させないことが前提であるが、この作用の成立(0.2→1.0Vの通流のとき9→4秒よりその影響が見え始める——三浦⁹⁾)より考えても認め得る假定である。

神経及び筋につき、刺激として感応電撃、直角電圧両者を用いたのは、前者は実験の便の爲

め、後者は検討せんとする通流電圧と刺激作用的性質の近い点を目的としたのであつたが、実験成績の章で見ると、神経にては特に後者が前者よりも優つた成績を与えている点はない。殊に中断法陰極通流にて、強電圧において最初に閾値上昇の現れに抑制の傾向あることは、直角電圧刺激の方が著しい。これは両電極作用の混在による(杉¹²⁾)のであつて、直角電圧刺激の方がこれに敏感なるを知る。筋刺激にて之の見られないことは、筋の隔絶法が両電極作用を分離するに優れている(杉¹¹⁾)ためである。

かくて実験の対象及び刺激電圧等に従い若干の差異は示されるが、いずれにしても中断法の示す如く、通流期間中はその第3作用のために、刺激閾値が陰極下にて上昇し、陽極下にて下降し、通流を開放すると大体元に戻る。この変化は上昇、下降とも通流中にも開放後にも大体指数函数的に起る。重合法にては陰極にては通流の開始に急激なる下降、開放に上昇があり、陽極にては閉鎖にては上昇、開放に下降が起る。そして通流中は中断法にて見られる変化が、開始直後の急激な変化に続く曲線に載る。これは両法併用の観察にて明かであり、殊に筋の直角電圧刺激の場合に美しく示され両者殆んど完全に平行する(第13, 14図)。神経にあつても通流電圧小なるときには美しく平行するけれど、電



第15図 (1) 重合法成績

(2) 中断法成績考察

(3) 中断法成績

圧大なるに従つて陰極通流にては重合法閾値上昇が、中断法の夫より急峻となる。また陽極通流にても重合法閾値は漸次増大するに至る。即ち通流電圧強きとき神経にあつては、陰陽両極とも重合法閾値が時間に従つて増大する機序のあることを物語るものである。

陽極通流にて重合法閾値が時間に従つて増大しなくとも、即ち通流電圧小なるとも、曲線は時間軸と平行に傾き、中断法曲線に見る下降を示さない。重合中断両曲線の平行が比較的著しい筋にても、重合法閾値は仲々正常値以下には下らない。杉¹¹⁾はその下降を見ているが、それに倣つた山中¹⁷⁾にても正常値以下に下つていない。この陽極通流の重合法閾値が神経でも筋でも下降を示し難いことは、前に坂本⁸⁾が見た如く刺激電圧を加えるに当り通流電圧の開放が刺激として偽いて、開放刺激の閾値を要求するためであつて、中断法によつて始めて閾値の下降が証明せられるのである。これ従来いわゆる陽極の第3作用の閾値に及ぼす影響 (Werigo¹⁶⁾の陰極抑圧に相対物)が見逃されていた理由に他ならない。

上述の実験対象や刺激電圧による異同を考慮に入れて、重合法閾値の簡明な経過を第15図1とする。そしてこれを通流電圧の刺激作用と通流第3作用とから考察して、第3作用のみの現われる中断法の成績たる同図3を導いてみよう。それに当つて次の3点を仮定する。

1) 通流電圧も閾値下ながら刺激作用を持ち、それは刺激電圧の刺激作用と効果が同價的であること。

2) 通流電圧の刺激効果は刺激電流の加わるまで恒常であること。

3) 通流電圧の刺激作用と刺激電圧のそれとは代数的に加算的であること。

第15図においては、正常時の閾値が7であるとき4の強さの通流をしたとする。通流電圧の刺激作用のため重合法にては、通流直後には陰極にては閾値は3でよく、陽極にては11を要する。然るにその後時間を経るに従い、第3作用のため陰極下では閾値が上昇し陽極下では下降

する。通流の期間中通流電圧の刺激作用が恒常ならば、重合法に於ける通流直後の閾値を起点としての陰極下にての上昇、陽極下にての下降の図の如き経過は、通流電圧の刺激作用を基盤として考えに入れると、同図2の如き経過となる。即ち通流電圧の刺激作用を考えに入れないければ閾値はかくの如き経過をとらねばならず、これ中断法にて得られる同図3の経過に他ならないのである。

上の3つの仮定のうち他のものは余り無理とは思えないが、第2のものだけは問題であつて、既に分極性が変化するのであるから、通流電圧による分極自身に相当する刺激作用は当然恒常でなく変化しなければならない。陰極通流においては分極性減小からその漸減が考えられる。従つて重合法閾値の上昇のより急峻さが説明され得る。また陽極通流にては、反対に分極性の増大より刺激作用の漸増を想像することができる。これはしかし重合法において刺激電圧による分極と反方向の分極に相当する刺激作用であるから、これまた重合法閾値の増大を説明することとなる。神経において、重合法閾値が陰極通流にても陽極通流にても、中断法閾値に比して上昇が、殊に通流電圧大なるに従い著しいことは上述の通りであつて、実際の場合の第15図よりの偏位は、この実際に近い仮定から説明され得るのである。筋に比し神経にこれが著しく見られるのは、神経の限界膜にてこの変化がより著しいためであろう。

かくて直流通流が刺激閾値に及ぼす影響としては、通流直後の急激なる変化と、通流期間中の徐ろなる変化との2つに分けて考えることが出来る。従来いわゆる電気緊張として取扱われた実験に於ては、この2つが混同されているため、その成績は統一を欠き著しく混乱しているのである。例えば最近の綜説たる Schaefer⁹⁾の100, 101頁の表の如きである。しかし上記の2つの、時間的に前後して相伴う現象を区別して事実を観察すれば、現象は悉く見透しがつくこととなるであろう。そして Pflüger 以來一般に電気緊張と呼ばれた現象は上述の第1の変化に

相当し、これは分極現象自身、即ち限界膜の半透過性によるイオン集積そのことに起因する。第2の変化はその電気緊張下と反方向の閾値変化であつて、直流電極の第3作用、すなわち膜の透過性を変化せしめ分極性を変化せしめる作用によつて起るものであり、その物理学的検討は緒言に述べた如く多く行われている。杉はこの第1変化を通流電圧と刺激電圧との物理学的干渉に歸し、第2の変化こそ電気緊張と称すべしとして Pflüger 以來の考え方を是正せんとしている。しかしこの第1の変化も單に物理学的現象ではなく、生体たる細胞限界膜が生物学的現象として分極し、新たに加わる刺激電圧のための第2の分極により、生体として刺激され興奮する現象であるし、從來も永く呼ばれていることであるから、やはり電気緊張の名はこれに与えて差支えないと思う。たゞそれに引續いて起るところの、閾値に対しては正に反対に影響する変化、即ち通流電極第3作用による現象を、電気緊張と明確に分離して取扱わねばならないのである。

本業績は本教室 鈴木正夫教授に対する 文部省科学研究費 (電気刺激要素に関する研究) により一部支辨されてなされたものである。

文 献

- 1) Bethe, A. (1920) Nervenpolarisationsbilder und Erregungstheorie. Pflügers Arch. 183, 289
- 2) Ebbecke, U. (1922) Membranänderung und Nervenregung. Pflügers Arch. 195, 555
- 3) Ebbecke, U. (1931) Über die Wirkung längerdauernde Durchströmung auf den polarisierenden, elektrotonischen und Ruhestrom des Nerven. Z.

- Biol. 91, 221
- 4) Ebbecke, U. (1933) Zur Lehre von Elektrotonus. Erg. Physiol. 35, 756
- 5) Hecht, K. (1931) Über den zeitlichen Verlauf der elektrotonischen Ströme bei Registrierung mit dem Saltengalvanometer. Z. Biol. 91, 231
- 6) Mackuth, E. (1926) Erregbarkeit und Struktur des Froschenerven. Pflügers Arch. 214, 612
- 7) 三浦隆藏 (1941) 中等度速度を以てせる電気緊張電流の測定 日本生理誌 6, 239
- 8) 坂本健次郎 (1944) 電気刺激強まり要素測定の一新法及び夫による直流通流の神経に於ける該要素に対する影響の観察 日本生理誌 9, 433
- 9) Schaefer, H. (1940) Elektrophysiologie. I. Wien.
- 10) Scheminzky, F. u. a. (1930) Permeabilität und Ermüdung. 2. Mitt. Pflügers Arch. 225, 145 (なお同論文 1. Mitt. ibid, 223:409 (1929) より 5. Mitt. 225 (1930) 参照)
- 11) 杉靖三郎 (1936) 筋の分極性と電気緊張 日本生理誌 1, 330
- 12) 杉靖三郎 (1937) 筋の單極性刺激とその極的効果に就て 日本生理誌 2, 88
- 13) 鈴木正夫 (1932) Nutzzeitmessung bei exponential ansteigenden Strömen und ein Erklärungsversuch der Einschleichvorgänge. Pflügers Arch. 230, 363
- 14) 鈴木正夫 (1933) Beiträge zur Kenntnis des elektrotonischen Ströme. Jap. J. med. Sci., Biophys. 2, 307
- 15) 鈴木正夫 (1943) 環境條件と生体興奮態度 日新医学 35, 192
- 16) Werigo, B. (1833, 1901) Die secundäre Erregbarkeitsänderungen an der Cathode eines andauernd polarisirten Froschnerven. Pflügers Arch. 31, 427; Depressive Kathodenwirkung, ihre Erklärung und ihre Bedeutung für Elektrophysiologie. Pflügers Arch. 84, 547
- 17) Woronzow, W. S. (1927) Über die Einwirkung des konstanten Stroms auf den alterierten Nerven. Pflügers Arch. 216, 32
- 18) 山中俊雄 (1940) 電気緊張に就て 日本生理誌 5, 433

Summary

Kiel efiko de traflluigaj elektrodoj de konstanta kurento ĉe eksciteblaj objektoj estas la elektrotonuso la plej bone konata, sed oni povas trovi en konoj pri la elektrotonuso ne malmulte da konfuzoj. Laŭ opinio de P-ro M. Suzuki tiuj ĉi konfuzoj devenas de ne preciza distingado de ambaŭ fenomenoj okazantaj unu post la alia sub la sama elektrodo, kiam oni traflluigas konstantan kurenton tra nervo aŭ muskolo. La unua fenomeno estas la polarigado mem de limmembrano de ĉeloj, kaŭzita de ĝia semipermeebleco por iono. Tiu ĉi polarigado estas teorie interesinda fenomeno, ĉar ĝi kaŭzas stimulan ĉe katodo per naskiĝo kaj ĉe anodo per malapero de sia iu certa kvanto. Sed la polarigado ne povas resti en konstanta forteco: ĉe forta aŭ longedaŭra traflluigado ĝi malfortiĝas sub la katodo kaj kreskas sub la anodo. Tio ĉi kaŭziĝas de la efiko de la traflluigaj elektrodoj sur permeebleco kaj polarigebleco

de la membrano. La katodo grandigas la permeeblecon kaj malgrandigas la polarigeblecon kaj la anodo renverse. Suzuki nomis tiun ĉi la trian efikon (polarigado...unua, stimulado...dua) de la elektrodoj. Faktoj pri la polarigado ĉe elektra trafluigado kaj la ŝanĝigo de la polarigebleco ĉe forta aŭ daŭra trafluigo sub ambaŭ elektrodoj estas jam multe esploritaj per fizika metodo.

Fiziologiaj efikoj de la elektrotonuso difinitaj de Flügler devas esti tiuj de la polarigado mem: malaltiĝo de stimula sojlo sub la katodo kaj ĝia altiĝo sub la anodo. Kaj pro la tria efiko de l' elektrodoj la sojloj devas ŝanĝiĝi, se la trafluigado daŭras longe, en la malan direkton kiel sub la elektrotonuso. Tiu ĉi fenomeno estas precipe notinda sub la katodo kaj estis frue nomata de Werigo (1901) kiel subpremada efiko de katodo, sed la responda fakto por la anodo ne estis facile observata, kaj oni ne povis ankoraŭ interpreti la ŝanĝojn de la sojlo sur vidpunkto de la tria efiko. Pri aliaj fiziologiaj efikoj ol la sojloj la rezultatoj ŝajnas konfuzite pro miksado de ambaŭ efikoj, polarigado kaj la tria.

Tamen la malaltiĝo de l' sojlo sub la anodo de longedaŭra trafluigo estas facile observebla per konvenaj metodoj (Sugi, 1936; Yamanaka, 1940). Precipe Sakamoto (1944) prilaboris la plej bonan metodon por studi la trian efikon, kiam li esploris ĝian influon sur intenseca kaj kruteca faktoroj de elektra ekscitiĝo de nervo. Mi nun observis la kuradon de ŝanĝiĝoj de l' sojlo, ekde la komenco de la elektrotonuso ĝis evoluado de la tria efiko ĉe konstanta trafluigado de nervo kaj muskolo, uzante la metodon suprediritan de Sakamoto.

Mi uzis ĉe nervo kaj ankaŭ muskolo aŭ induktoran aŭ konstantan kurenton kiel stimulo por vidi la sojlon. Sed ne troviĝis granda diferenco ĉe rezultato inter ambaŭ kurentoj. La ordinara metodo por persekuti sojlsanĝon (Sugi, Yamanaka) estas t. n. superpoza metodo, en kiu oni donas stimulan kurenton al la nervo, al kiu jam la konstanta kurento estis trafluigata. Per tiu metodo oni mezuras la efikon sur la sojlo de ekzistanta aŭ malaperanta polarigado plus tiun de la tria efiko. Pli bonigita de Sakamoto metodo estas la t. n. interrompa metodo, en kiu oni unue interrompas la trafluigadon kaj tuj stimulas. Post la stimulado oni trafluigas 0.5–1 min ĝis la sekvanata stimulado. Per tiu ĉi metodo oni povas observi sendepende la influon de la tria efiko de trafluigado.

La rezultato estis principe la sama ĉe nervo kaj ĉe muskolo. Per la interrompa metodo mi vidis ke la sojlo pli kaj pli altiĝas sub la katodo kaj malaltiĝas sub la anodo kaj, ĉe malfermo de trafluiga kurento, revenas al la normala valoro. La ŝanĝo kaj la reveno okazas entute eksponentiale. Ĉe la superpoza metodo la sojlo abrupte malsaltiĝas ĉe ektrafluigo kaj altiĝas ĉe ĝia malfermo sub la katodo, kaj renverse sub la anodo, kaj dum kaj post la trafluigado la ŝanĝoj viditaj ĉe la superpoza metodo okazas ekde la fina punkto de l' abruptaj ŝanĝoj. Iometaj deviaĵoj de observadoj laŭ objekto kaj stimula kurento troviĝas kaj estis diskutataj. Oni povas ĝenerale konkludi, ke per uzado de ambaŭ superdiritaj metodoj estis klare distingataj ambaŭ ŝanĝoj de l' sojlo: unu aperanta tuj ĉe ektrafluigo kaj ekmalfermo, kaj la alia okazanta dum longa trafluigado kaj longe post la malfermo. La unua devas deveni de la polarigado mem de la limmembrano kaj la lasta devas esti atribuita al la ŝanĝo de ĝia polarigebleco, la tria efiko de la trafluigado.

(Fiziologia Instituto, Tiba Medicina Kolegio)

麻痺した1絞輪を越えての跳躍傳導に関する研究 612.816.3

(第1報) 剔出單一神經纖維について

Studies on the Electro-saltatory Transmission of the Nerve Impulse Beyond
an Inexcitable Node of Ranvier.

(Part I) Experiments on Excised Nerve Fibres.

内村俊雄*・宮原長知**・菅谷享三**

(Uchimura-Toshio・Miyahara-Takechi・Sugaya-Kyozo)

I. 緒言

有髓神經纖維に於ける興奮傳導模式に関し、
偽作流がその隣接部位を興奮させる役目を持つ
ものであろうという考えは、古くから多くの
人々によつて抱かれておつた。中でも Lillie¹⁾ は
單一神經纖維の組織学的構造に暗示を得て之を
模型化し、その模型の實驗から、髓鞘が甚だ高
い電氣的絶縁体であると仮定する場合に、興奮
傳導は偽作流を媒介として1絞輪より次ぎの絞
輪へと跳躍的に傳導されることの可能性を論ず
るに至つたが、これ等の興奮傳導の根本機轉に
関する考察は單にいずれも憶測の域を出なかつ
た。

1934年に至つて Erlanger 及び Blair²⁾ はカ
エルの坐骨神經趾枝の分離しない神經纖維を用
い、之に平流を作用させ、陰極線オツシログラ
フを用いてその偽作流を観察し、その波型が著
しく不連続的な性質を帯びてくる点から、恐ら
く偽作流の発現には「ラ」氏絞輪が関与するの
であらうという推論を下したことは、「ラ」氏絞
輪の生理学的意義に多くの関心を集めるに至つ
たのである。

この時代とほぼ前後して、1930年慶大生理学
教室においてはじめて神經幹から單一神經纖維
を生體のまま分離剔出することに成功したことは、
この方面の研究に劃期的な貢獻をなしたと
ころであり、田崎の着想による髓鞘乾燥絶縁法

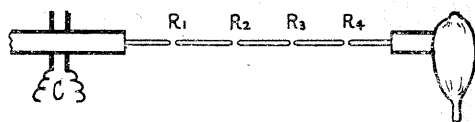
の応用と相まつて、神經纖維の生理学上重要な
諸種の基本的現象が相次いで究明され、過去に
於ける憶説に対しても嚴密な實驗的証明を与える
に至つたのである^{3) 4) 5) 6)}。

今その中から神經の興奮傳導に関する新知見
を摘録すると次ぎの通りである。即ち、

1) 髓鞘は電氣的に甚だ高い抵抗を持つてお
り、従つて刺激電流は「ラ」氏絞輪の部に於い
てのみ軸索に出入し、興奮は「ラ」氏絞輪の部
に於て生ずる。

2) 各絞輪に生ずる偽作流は悉無律に従い、
興奮は偽作流を媒介として「ラ」氏絞輪より次
ぎの「ラ」氏絞輪へと不減衰的に傳導される。

3) この場合約5倍の安全率という甚だ大き
な余裕を以て平常時の興奮傳導が営まれる。



第1図

4) 1絞輪例えば(第1図参照) R_1 に生じ
た偽作流の纖維にそうての抵がりに関しては、
「ラ」氏絞輪部の形質膜が比較的高い電氣抵抗
を有し、且つまた髓鞘部が高度の電氣的絶縁体
からなつてゐること等により、 R_1 に発生した
偽作起電力は、それに隣接した絞輪 R_2 に閾値
の約5倍の強さの強い外向き電流を生ずると同
時に、次ぎの絞輪 R_3 にもその半減した電流即
ち絞輪の閾値の約2倍半の強さの電流がこの絞
輪を通つて媒質を流れ、同時に更に又次ぎの絞

* 慶応義塾大学医学部生理学教室

** 東京歯科大学生理学教室

輪 R_4 にも、 R_3 を通つて流れる電流の約 $1/2$ の強さの僅かに閾上の外向き電流が流れる。

5) 麻酔薬は「ラ」氏絞輪部に於いてのみ神経纖維に作用し、臨界濃度以上の麻酔薬を作用させると、その絞輪は極めて短時間内に麻痺に陥る。

以上のことから明らかなように、神経衝撃の傳導の途中に於て、1絞輪例えば R_2 を麻酔薬等により麻痺させても R_1 の興奮は之を飛び越えて安全に次ぎの絞輪 R_3 へと傳わり、傳導は中断されず、状況によつては2つの麻痺した絞輪を飛び越えることも可能であるということとは容易に推察されるところであつて、実際に田崎^{6) 7)}、根岸⁸⁾ はこの現象を驗證しているのである。

然らばこの場合1個の麻痺した絞輪を飛び越えて傳導する際の傳導時間は、正常の場合の傳導時間に比して如何なる関係にあるか、この問題について次ぎのような可能性も一応考えられる。それは今絞輪 R_1 に偽作起電力が発生すると、それによつて1つの麻痺した絞輪 R_2 を越えて次ぎの絞輪 R_3 には閾値の約2倍半の強い外向き電流が作用するのであるならば、麻酔薬を1個の絞輪に作用させることにより、それを越えての傳導時間は正常の場合の傳導時間より、1絞輪の潜伏時だけ省略せられて却つて時間の短縮を來たすようにも考えられるのであつて、この時間的な問題を究明することは、興奮傳導學上いさゝか興味ある問題と思ひ本実験を試みたのである。

II. 実験方法

実験標本はすべてガマの坐骨神経幹から略々中央に「ラ」氏絞輪1個を認める單一神経纖維を分離別出して、暫時新鮮な Ringer 液中に靜置したものを使用し、この纖維の出す偽作流を觀察する方法として、田崎の所謂髓鞘乾燥絶縁法に従つた。即ち3枚のガラス板を極く狭い2ヶ所の間隙を作つて固定し、この上に神経纖維の「ラ」氏絞輪1個が中央の細いガラス板の略々中央に、髓鞘被覆部はこの仕切られた2ヶ所

の狭い空気間隙に互るように纖維を橋渡しし、髓鞘を空气中に露出乾燥させ、纖維の周囲の媒質をこの間隙で隔絶して、この隔絶された3枚のガラス板に於ては、Ringer 液を十分に含ませた綿紗によつて神経纖維が常に十分に Ringer 液に浸つているようにし、各 Ringer 液溜りには夫々1個の不分極電極 (Cu/CuSO_4 飽和溶液寒天-Ringer型) を配置して、之を4段の抵抗容量結合増幅器に導き、陰極線オツシログラフを使用して偽作流を誘導記録した。そしてこの偽作流の記録から傳導時間を測定したのである。

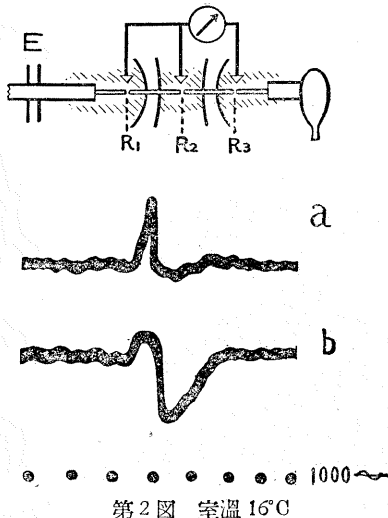
刺戟方法は、標本近心神経幹部に一對の白金電極で下向開放感應電撃を与えることとした。また中央の Ringer 液 (「ラ」氏絞輪1個が浸されている溜り) を麻酔薬溶液と置換するためには、靜かにスポイトで Ringer 液を吸い取り、他のスポイトで麻酔薬溶液を十分に注入し、これを2~3回繰り返す方法を用いた。かくして同一標本について1個の「ラ」氏絞輪が正常の Ringer 液中に浸されている場合と、麻酔薬溶液によつて麻痺された場合とに於ける傳導時間を比較検討した。そして電流計は第2図のように末梢側の2つの電極間に連結した場合と、第3図に示すように絞輪 R_2 の形質膜を通して流れる電流が直接觀察されるような位置に配置した場合と2様の形に於て觀察した。

麻酔薬は cocaine-Ringer 溶液と urethane-Ringer 溶液の2種を用いた。

III. 実験成績

実験に用いた麻酔薬溶液の濃度は、神経纖維内の電気抵抗を變えることなしに絞輪の偽作流を發生する性質を奪い去ることの出来る濃度、即ち 0.2% cocaine-Ringer 溶液並びに 3% urethane-Ringer 溶液を用い、或はまたこれ以上の濃度の麻酔薬溶液を使用して多数の実験を行つたのであるが、いずれの場合に於ても「ラ」氏絞輪1個を麻痺させた場合に於ける傳導時間の方が正常の場合の傳導時間に比して遅延する結果のみを得られ、1例もその傳導時間が短縮するという結果に遭遇しなかつたのである。そし

てこの場合に於ける遅延の程度については、各標本によつて多少異なり、最も遅延した場合は0.5msecで、最も遅延の程度の僅少なもので約0.2msecであり、その他は概ねこの間の種々の値を示したのである。



第2図 室温 16°C

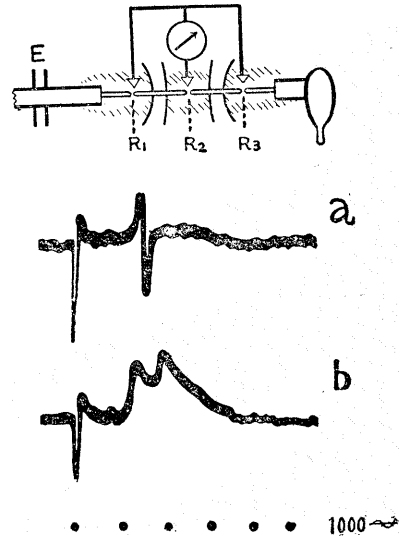
今その中から2例を挙げて説明を加えよう。

第2図は電流計を図のように末梢側の2つの電極間に連結しておいた場合で、図中aは麻酔薬を導入する前、即ち正常の場合の偽作流で、その立上りの最初のもは絞輪 R_1 の興奮の始まりを示し、それに続いて R_2 に由来する偽作流が之と略々重なつて立上り、次いで下向きのフレに移行しているのは絞輪 R_3 の偽作起電力によつて生じたと考えられるので、 R_1 による最初の立上りから R_3 による下向きのフレに移行する迄の時間を求めれば即ち正常の場合の R_1 - R_3 間の傳導時間であり、実測の結果0.3msecを得たのである。

次にそのまゝの誘導法で絞輪 R_2 に0.2% cocaine-Ringer溶液を作用させて観察したものがbである。この場合弱い偽作流に続いて突然そのまゝ下向きのフレが単絞輪性の形をとつて現われており、この最初の弱い電流は絞輪 R_1 に由来するもので、この後に続く下向きのフレは絞輪 R_3 によることは明らかで、従つてこの弱い偽作流の立上りから下向きのフレまでの時間を求めたものが麻痺した絞輪 R_2 を飛び越え

て傳導した R_1 - R_3 間の傳導時間であり約0.65msecを示している。従つてこの両者の時間的差異即ち0.35msecが後者に於て遅延した値である。

次に誘導電極に電流計を連結する模様を少し換えて、中央の電極に電流計を連結して観察したのが第3図である。aは正常の場合の偽作



第3図 室温 16°C

流で、この記録上の最初の立上りは絞輪 R_1 に偽作起電力の現われたことを示し、次の下向きの強いフレは中央の絞輪 R_2 に由来する電流で、これに続く上向きのフレは絞輪 R_3 によるものである。従つて正常の場合の R_1 - R_3 間の傳導時間は、最初の立上りから次の上向きのフレに移行するまでの時間々隔を求めればよいわけで、之は約0.3msecであつた。

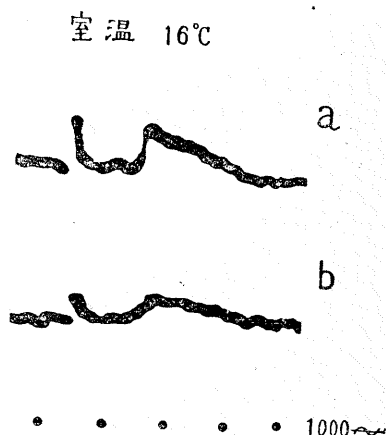
次に中央の絞輪 R_2 に3% urethane-Ringer溶液を作用させて観察したのがbで、偽作流は2峰性を示しており、始めの峰は絞輪 R_1 の偽作起電力によるものであり、後の峰は絞輪 R_1 の活動開始を現わしていることは疑をいれない。よつてこの2つの峰の時間々隔を求めれば即ち興奮が R_1 から麻痺した絞輪 R_2 を飛び越えて R_3 に傳導するに要した時間を現わすことになり実測の結果0.7msecを得た。よつて両者の時間的差異即ち0.4msecという値が後者に於

て遅延した時間である。

IV. 考 察

2絞輪の傳導時間は、1絞輪の偽作起電力が次の絞輪を興奮させる際の潜伏時に他ならない。従つて正常の場合に於ける R_1-R_3 間の傳導時間は結局2個の絞輪の潜伏時が加算されたものであり、一方1個の絞輪 R_2 を麻痺させた場合の R_1-R_3 間の傳導時間は絞輪 R_1 の偽作流即ち R_3 の閾値の約2倍半の強さの偽作流による R_3 の潜伏時に他ならない。一般に電気刺激に際して電流の強さが減弱して閾値に近づくほど偽作流の現われる潜伏時間が延長されることはよく知られているところであつて、この刺激強度と潜伏時との関係については、既に古山⁹⁾、丸橋¹⁰⁾等がガマの別出單一神経纖維を用いて詳細に追求している。即ち古山は閾下降法を応用し inductorium による刺激電流によつて測定し、丸橋は朴沢の Helmholtz 振子の Punktkontakt による方法によつて之を求めている。これ等の成績からみると、この閾値の2倍半の強さの刺激電流による R_3 の潜伏時は最も短縮された変動のない範囲のもので見做され、従つて1個の絞輪 R_2 に麻酔薬を作用させた場合の R_1-R_3 間の傳導時間は隣接2絞輪間の傳導時間に近づき、正常の場合の R_1-R_3 間の傳導時間より1絞輪の潜伏時だけ短縮されてよいようにも考えられるのであるが、実験結果は豫期に反していずれも麻酔薬を作用させた場合の方が正常の場合より時間の延長を來しているのである。そこで余等はこれは恐らくこの場合 R_3 に作用する R_1 の偽作流の形が変化してこのような結果を齎らすのではないかとの推定のもとに、実際に R_1 の偽作流が R_3 に作用する電流の形を追求してみたところ、第4図bに示すようにaに示した單絞輪性の偽作流に比して、その立上りの鈍い而もその偽作流の極大に達する時刻がかなり遅延する結果を得たのである。このように1個の絞輪を越えて次の絞輪に作用する電流の形と大いさについては、既に田崎¹¹⁾が求めているところであつて、この形のくづれる理由

としては、髓鞘が電氣的に完全に絶縁体ではなく、電流の速やかに変化する成分だけをよく通



第4図 室温 16°C

す爲に、神経纖維にそうて拮がる電流の形が著しく変化を受けるのであると説明し、また彼は cocaine 或は urethane-Ringer 溶液の濃度が低い場合にはその作用によつて神経纖維の絞輪部形質膜の電気抵抗は正常時と変らないことを証明している。従つて実際に R_3 に作用する R_1 の偽作流はかなり形のくづれたものとなり、このような偽作流の刺激による R_3 の興奮に対してその有効量に達するまでの時間は著しく延長されるのがむしろ当然であり、このことから麻酔薬を作用させた場合の方が正常の場合の傳導時間より遅延する結果を來したものでなかろうかと推察するものである。

V. 摘 要

余等は髓鞘乾燥絶縁法により、ガマの別出單一神経纖維を用い、1個の絞輪に麻酔薬 (cocaine, urethane) を作用させ、興奮がこれを飛び越えて傳導する場合の傳導時間を数例について追求し、いずれも正常の場合の傳導時間より 0.2~0.5msec 遅延する結果を得た。

終りに臨み、懇篤なる御指導と御校閲を賜りました加藤教授並びに終始絶大なる御支援と御鞭撻を頂きました東齒大生理山田教授、丸橋助教授に心から感謝致します。

文 献

- 1) Lillie, R. S. (1925) Factors affecting transmiss-

- ion and recovery in the passive iron nerve model. J. Gen. Physiol. 7, 473
- 2) Erlanger, J. and E. A. Blair (1934-35) Manifestation of segmentation in myelinate axons. Am. J. Physiol. 110, 287
 - 3) Katō, G. (1936) On the excitation, conduction, and narcotisation of single nerve fibres. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology, Vol. 211
 - 4) Katō, G. (1934) The microphysiology of nerve. Tokyo, Nakayama Publishing Co. LTD.
 - 5) 田崎一二 (1944) 神経繊維の生理学 1:4, 2:1, 2:3, 2:4 東京 河合商店
 - 6) 田崎一二 (1944) 神経繊維の生理学 2:5 東京 河合商店
 - 7) Tasaki, I. (1939) The electro-saltatory transmission of the nerve impulse and the effect of narcosis upon the nerve fiber. Am. J. Physiol. 127, 211
 - 8) 根岸雅夫 (1940) 麻痺せる Ranvier 氏括約輪を越えての興奮傳導 慶応医学 20, 9, 939
 - 9) 古山実 (1941) 單一神経繊維の偽作電流を測定する一新法とその応用 其の2 刺戟強度と潜伏時との関係 慶応医学 21, 2, 121
 - 10) 丸橋寿郎 (未発表) 神経繊維の偽作流の潜伏時に関する研究
 - 11) 田崎一二 (1944) 神経繊維の生理学 2:4, 2:8, 3:4, 1:4 東京 河合商店

Summary

Measurements were made of the time required for transmission of a nerve impulse between normal and narcotized nodes of Ranvier of isolated single nerve fibres of the toad.

It was shown that the time required for transmission of an impulse beyond one completely narcotized node of Ranvier was approximately 0.2~0.5 msec longer than that for a normal nerve fibre.

(Department of Physiology, Med Faculty, Univ. of Keio-gijuku)

(Department of Physiology, Tokyo Dental College)

麻痺した1絞輪を越えての跳躍傳導に関する研究 612.816.3

(第2報) 生体内單一神經纖維について

Studies on the Electro-saltatory Transmission of the Nerve Impulse Beyond
an Inexcitable Node of Ranvier.

(Part II) Experiments on Nerve Fibres in vivo.

内 村 俊 雄 (Uchimura-Toshio)*

I. 緒 言

さきに余等は第1報¹⁾に於て、剔出單一神經纖維に於ける興奮傳導に際し、1個の絞輪を麻酔薬で麻痺せしめ、興奮がこれを飛び越えて傳導する場合に於ける傳導時間は、正常の場合の傳導時間に比して、いずれも遅延する結果を報告したのであるが、これ等は剔出等の人工的操作を加えた神經纖維についての觀察であるので、余は次ぎに人工的に剔出等の操作を施さない生体内に於ける單一神經纖維について、果して麻痺した絞輪を越えての傳導が起り得るや否や、若し起り得るとすればその場合に於ける時間的な關係を併せて追求しようと試みたのである。

剔出單一神經纖維については、第1報に於ても述べたように、田崎の所謂髓鞘乾燥絶縁法の応用と、單一神經纖維の實驗に際しての取扱いが比較的容易な点等により、これを用いての實驗は着々と進捗され、興奮傳導に関する基本的な現象についても今やあらゆる点に於て詳細に解明せられた観があるが、剔出等の人工的操作を施さず、自然のままの状態におかれた生体内單一神經纖維についての觀察は、最も自然の状態に近い現象を求め得るに拘らず、その業績は寡少な憾みがある。これは勿論その標本の得難い点と、これを用いての實驗操作が可成り厄介な点もあり、また剔出單一神經纖維の場合のようにあざやかにこれから偽作流を誘導することの甚しく困難なこと等によるものであろう。

吾が教室に於けるこの方面の過去の文献を稽いてみてもその業績は僅少で、いずれも専らカエルの舌下膜に自然に分離独立して走行し、舌骨舌筋を支配している單一神經纖維を用い、筋の攣縮を目標として實驗を行つていたのであつて、いまこれ等の業績により明らかにされた主なる点を挙げれば、

1) 剔出單一神經纖維の場合と全く同様に、刺激電流は「ラ」氏絞輪に於て軸索に出入し、興奮は「ラ」氏絞輪に於いて起る²⁾。

2) 麻酔薬は生体内單一神經纖維に於ても、先づ「ラ」氏絞輪の部に於て神經纖維に作用し、或る濃度以上に於ては極めて短時間内にこれを麻痺せしめる³⁾。

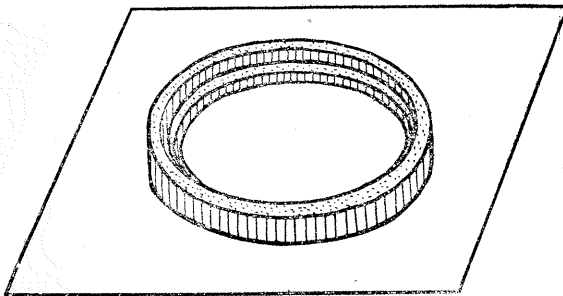
大要以上のようなもので、未だ生体内單一神經纖維について、1個の麻痺した絞輪を飛び越えての興奮傳導が果して可能であるかどうかこれ等の点に關しては実証されていないのである。そこで余は以上明らかにされた業績に基き、まづこの点を究明すべく、ガマの舌骨舌筋の間に自然に存在する生体内單一神經纖維を求め、この纖維の支配する筋纖維から偽作流を誘導する方法により實驗を進め、もしこれが可能とすれば更にこの場合に於ける時間的な問題について、單一神經纖維が單一筋纖維を支配するという最適の標本を求めて追求し、第1報に於て詳述した剔出單一神經纖維についての成績と比較検討してみたいと思ひ本實驗に着手した次第である。

II. 実験方法

* 慶応義塾大学医学部生理学教室

余等の第1報に於ての実験より得られた諸現象は、いずれも人工的に単一神経纖維を神経幹から分離剔出したものを用い、直接神経纖維自身から、電極並びに電氣的回路を介して偽作流を誘導観察し、また髓鞘乾燥絶縁法等諸種の操作を施した神経纖維についての特殊な場合であるとも考えられる。そこで余は生体内単一神経纖維自身には麻酔薬を作用さす以外には何等人爲的操作を施さず、自然に結締組織並びに Ringer 液等に被われた媒質のもとにある神経纖維について、これ等の現象を追求しようとしたのである。

イ) 実験標本作製法並びに固定法: 余は実験材料にガマを使用した。標本の作製法は概ね渡辺氏法⁴⁾に倣い、舌骨舌筋の左右片側づきの筋束を各全長に互つて分離切断し、これを支配する舌下神経枝を各 2~3cm の長さ に附して1匹のガマから必要な標本2個を作製した。標本



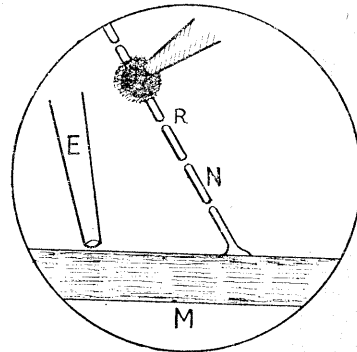
第1図

の固定法は第1図に示すように、ガラス板にパラフィンで固定した径約 4.3cm、厚さ略々 0.5 cm のコルク環で、この中に表面を薄くパラフィンで被つた円型のガラス板を、このコルク環の周壁の高さより幾分低めて嵌入させ、この表面を薄く Ringer 液で浸し標本の乾燥による幾分の損傷をも防止することとした。この固定函のコルク環上に、剔出された標本を適度の緊張を以て拵げることにより容易に舌骨舌筋は並行した数群の筋束となつて結締組織膜によつて連結せられたまゝ扇型に膜状を呈して拡張せられるので、これを昆虫ピンで周囲のコルク環に固定した。

ロ) 刺戟方法は、舌下神経枝幹を一對の白

金電極で感應コイルによる下向開放電撃を用いて刺戟し、時間の追求に當つては、この電撃の開始から筋纖維に生ずる偽作流の発現までの潜伏時を比較測定したのである。

ハ) 偽作流の誘導法は單極誘導法で、1極は富田式微細電極⁵⁾を作製し、その先端の径約



第2図

20 μ のものを micro-manipulator の操縦台に取りつけ、単一神経纖維の支配する筋纖維に軽く接触せしめ (第2図参照)、他極は径約 200 μ 程度のものを約 1cm 離れた Ringer 液の薄層中に浸し、この両電極の間に4段抵抗容量結合増幅器を前に連結した陰極線オツシログラフを挿入し、筋纖維の偽作流を誘導記録したのである。

ニ) 麻酔用に用いたガラス毛細管ピペットは、先端の径約20 μ 程度の極く微細なもので、これも micro-manipulator の操縦台に取りつけ、目的の「ラ」氏絞輪に確実に誘導出来るようにした (第2図参照)。

ホ) 麻酔薬溶液は、塩酸 cocaine 末を Ringer 液に 0.5% の割合に溶解し、これにエオジン色素を加え、その着色から溶液の拡散状況を知る目標とした。本実験に於て、目的の1絞輪に適当量の麻酔薬溶液を作用させることは最も必要な点であり、最も困難を感じたところであつて、この点については特に豫め研究熟練を積み而る後実施したのであつて、他に特に功効なる方法も考え得られなかつた。

尙神経纖維の太さ、絞輪間距離、電極並びに

麻酔用毛細管の先端の直径等の測定は、接眼レンズに ocular-micrometer を嵌入して計測した。特にこの舌骨舌筋の間に存する神経繊維は末梢神経でも極く末端部に属する繊維である関係か、吾々がガマの坐骨神経の分枝から常に剔出操作を加えて求めるところの神経繊維とは著しく趣を異にし、繊維の太さに於ても一般に細く $5\sim 8\mu$ 、筋繊維の横径は $30\sim 70\mu$ 、絞輪間の距離は極く接近して概ね $0.3\sim 0.7\text{mm}$ 程度のものであつた。

Ⅲ. 実験操作並びに成績

前述の実験条件下に於て、先づ標本を固定面に伸展固定したまゝ、双眼顕微鏡の載物台に乗せこれを検鏡するときには、舌下神経分枝は舌骨舌筋束の舌骨端部に近い場所から筋束に配入し、これより樹枝状に分散して各筋束を支配する状態が観察され、この樹枝状を呈する神経枝から尙分枝独立して走行し、夫々筋繊維に達入する単一神経繊維を求めたのである。この場合実験条件に適した良標本を得ることは誠に困難であつて、数十の標本を作製鏡検してみ始めて1つか2つを得る程度であると先輩諸氏も記載している。余も亦多数のガマを犠牲にして以下述べる条件に適したものをみを選び実験に使用した。即ち、

1) 単一神経繊維が神経幹の分枝から分離独立して走行する経路の明瞭に観察されるもの(単一神経繊維は1つの標本に於て3~5本程度は認められるも、その支配分枝の不明瞭なものが大半である)。

2) 単一神経繊維に於て、少くとも3個以上の「ラ」氏絞輪が明瞭に認められるもの。

3) 微細電気ピンセットを用い、単一神経繊維が連運動繊維であることを確認したもの。

尙実験に先き立ち、目的の単一神経繊維が支配する筋繊維群に或は他の神経繊維が共にこの一部を支配するという懸念を除く爲と、舌下神経幹刺激時に全筋束攣縮による標本の動揺を防ぐ目的で、この単一神経繊維を支配している舌下神経の分枝のみを残し、他の分枝は悉くこれ

を切断しておいた。かくして得られた標本を顕微鏡下に固定し、上述した実験装置のもとに、先づ筋繊維から出来るだけ離れた「ラ」氏絞輪1個に麻酔薬溶液を作用させ、その拡散状況を顕微鏡下で特に注意しながら時間の経過と共にその傳導状況を筋繊維の偽作流を目標として観察して行つたのである。

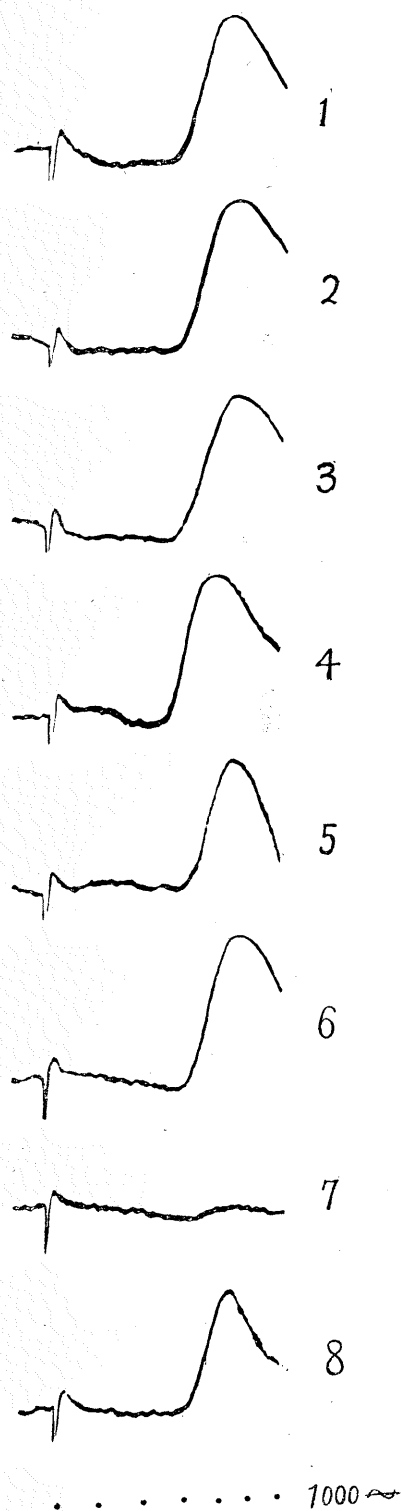
実験は相当困難で、実験を完了したものは僅か4例に過ぎないが、その結果はいずれも、先づ麻酔薬溶液が1つの絞輪にのみ及んで他の絞輪並びに筋繊維に拡散しない状況に於て、10~15分間観察していつたのであるが、筋繊維の偽作流は依然として証明され傳導中断は認められず、次いでその隣接した絞輪に麻酔薬溶液を更に作用させるに及んで約2~6分後偽作流は突然消滅し、直ちに Ringer 液に置換するに及んで再び偽作流の発現を認めたのである。以上の実験成績は生体内に於ける単一神経繊維に於ても、剔出単一神経繊維の場合と同様に、興奮は1個の麻痺した絞輪を飛び越えて傳導され得るものであるということを証明しているものである。

そこで次ぎに、この場合に於ける傳導時間の問題即ち、1個の麻痺した絞輪を飛び越えて傳導する場合と、正常の場合とに於ける時間的な相違を追求してみたのであるが、筋繊維群の偽作流からは、極く僅かの時間の相違を判定することにいさゝか困難を感じたため、この問題については、単一神経繊維が単一の筋繊維を支配するという最適の標本を丹念に求めて、この標本について実験を行つたのであつて、その中から円滑に実施し得た1例の写真を掲げて説明を加えよう。

第3図はその証例である。

1)、2) 先づ正常の場合の傳導状況を記録した。即ち刺激開始から筋繊維の偽作流の生じ始め迄の状態で、共に傳導時間は一致している。

3) は「ラ」氏絞輪1個に麻酔溶液を作用させてから3分30秒後の記録で、僅かに正常の場合より延長の傾向を示している。4) 然るに6分後の記録では正常の場合より却つて短縮して



第3図 室温 15°C

いる結果を得た。

5) 8分後に於ては再び3)の場合よりも延長を來している。これは丁度この時間に麻醉薬溶液がその隣接した絞輪に僅かに及んでおつたのでこの関係によるものと思われる。

6) 15分まで観察したが全く5)の場合と変りが無い。

7) そこで更に次ぎの隣接した絞輪1個に麻醉薬溶液を作用せしめたところ、5分後に偽作流は

消滅した。8) よつて直ちに Ringer 液に置換したところ偽作流は再現し、傳導時間も略々正常の場合に恢復している。

以上は写真を拡大投影して測定したものであつて、この成績により生体内の神経纖維に於ては、1個の絞輪に麻醉薬溶液を作用させ、その絞輪が完全麻痺に陥つたと思われる時期に正常の場合よりも一過性に時間の短縮を來していることを知るのである。

尙実験終了後念の爲再び舌下神経枝幹を電気ピンセットで刺戟して筋纖維の攣縮を証明し、次ぎに單一神経纖維の切断によつて筋纖維の攣縮するを確め、然る後再び舌下神経枝幹を刺戟して筋攣縮の消滅を確認したことを附記しておく。

IV. 考 察

さきに田崎⁶⁾が、有髓神経纖維に於ける興奮傳導に際して、1絞輪に発生した偽作起電力は、それに隣接した絞輪に約5倍の安全率を持つ強い外向き電流を以て作用し、平常時の興奮傳導は相当の余裕をもつて行われるものであることを証明したのは、別出單一神経纖維について、而も「ラ」氏絞輪間の距離が概ね 1.5~3.0 mm 位のものについての観察であつた。従つてガマの舌下膜の間に自然に分布しているような細い而も絞輪間の距離が著しく接近した神経纖維については、その安全率もまた疑問とされなければならない。実際に田崎も絞輪間の狭小であるような纖維については測定が困難で余り観察が行われていないことを述べている。従つて本実験に於ける、少くも1個の麻痺された絞輪を飛び越えて興奮が傳導するということの証明は誠に興味あるものと思ふされるところであり、やはりこの場合に於てもその安全率は少くとも3倍以上のものであることがこの結果から推察出来るのである。

先きに井手³⁾は、カエルの舌下膜に於ける單一神経纖維を用いて、その「ラ」氏絞輪に種々の濃度の麻醉薬溶液を作用させ、麻醉薬濃度と麻痺時間との関係を神経纖維に直接刺戟を与え

その繊維の支配する筋繊維群の攣縮を目標とする方法によつて追求観察し、或る濃度 (0.05% cocaine-Ringer 溶液) 以上の麻酔薬溶液に於ては極めて短時間に麻痺到来し、筋の攣縮を認めざるに到ると結論しているのは或る麻酔薬が2個以上の絞輪に互つて作用した場合についての観察ではなかろうかと推察するものである。

余の実験に於て、実際に麻酔薬溶液を作用させた絞輪が、果して完全に麻痺に陥つておつたかどうかとの直接の証明を欠く点は之を認めるところであるが、然し乍ら従來の実験に於て認められたように、神経幹に 0.5% の濃度の cocaine-Ringer 溶液を作用させ、十数分も経過すれば概ね間違いなく神経繊維を完全に麻痺せしめ得た経験からみても、特に薄い結締組織鞘の非膜に被われた舌下膜内の単一神経繊維に於ては、先づこの濃度の麻酔薬溶液とその観察時間に於ては、十分に1絞輪は完全麻痺に陥つておつたものと見做すのを適當と考えるものである。

次に本実験に於て、1個の絞輪に麻酔薬溶液を作用させ、約6分後に突然傳導時間の短縮を來しているのは、これはこの場合の単一神経繊維が別出単一神経繊維の場合と異なり、薄い結締組織鞘の非膜に被われた状態にあるため、麻酔薬溶液がこの非膜を通して拡散し、1絞輪の臨界濃度に達するまで約6分を要したものと十分に理解されるのである。従つてこの時期に於ける一過性の時間の短縮こそ、衝撃が1絞輪を飛び越えて傳導したことによるものと考えざるを得ないのである。本実験の結果が、1個の絞輪に麻酔薬溶液を作用させることによつて、別出単一神経繊維の場合と反対に傳導時間が却つて正常の場合より幾分短縮されていることは、或は諸種の人爲的操作を施した神経繊維と、自然の状態におかれた生体内単一神経繊維を用いての実験の相違によるものではないかとも考えられるので、余はこの時間的問題について更に生体内単一神経繊維自身から直接偽作流を誘導記録する方法によつて、この点を究明しようと種々努めたが遂に成功し得なかつた。將

來生体内に於ける単一神経繊維自身から直接容易に偽作流を誘導し得られる方法が案出され、且つこの場合ブラウン管オツシログラフの掃引速度をずつと増して偽作流を記録し得るような状況に立ち至つた場合、再びこの問題を究明すると共にその時間の絶対値についても詳細に検討を加えてみたいと思い、本実験報告に於ては、時間の絶対値に触れず、その傾向のみを述べるにとどめておいた次第である。

V. 摘 要

ガマの舌下膜内單一神経纖維の「ラ」氏絞輪1個に 0.5% cocaine-Ringer 溶液を作用させた場合に於ける興奮傳導状況を観察し、次の結果を得た。

1) 別出單一神経纖維の場合と同様、興奮は麻痺した1個の絞輪を飛び越えて傳導され得る。

2) この場合に於ける傳導時間は、正常の場合の傳導時間に比し若干の短縮を示した。

(本論文の要旨は、第27回日本生理学会総会において口演した)

終りに臨み、懇篤なる御指導と御校閲を賜りました加藤教授並びに終始絶大なる御支援と御鞭撻を頂きました山田講師、丸橋助手に心から感謝致します。

文 献

- 1) 内村俊雄・宮原長知・菅谷享三 (1952) 麻痺した1絞輪を越えての跳躍傳導に関する研究 (第1報) 別出單一神経纖維について 日本生理誌 13, 10
- 2) 弓削中 (1937) 生体内單一神経纖維に於ける Ranvier 氏括約輪の感応電流刺激による実験的研究 慶応医学 17, 671
- 3) 井手頼之 (1940) 生体内單一神経纖維に於ける麻酔薬濃度と麻痺時間との関係 慶応医学 20, 3, 309
- 4) 渡辺謹吾 (1931) 間接刺激によりて筋局所收縮生ずるや 慶応医学 11, 2007
- 5) Tomita, T. (1950) Studies on the intraretinal action potential. Part 1. Relation between the localization of micro-pipette in the retina and the shape of the intraretinal action potential. Jap. J. Physiol. 1, 110
- 6) 田崎一二 (1944) 神経纖維の生理学 2:1, 2:3 東京 河合商店

Summary

The author applied a narcotising solution to a single Ranvier node of the nerve fibre in *membrana basihyoidea* of the toad, and examined

1) Whether or not a nerve impulse could be transmitted jumping over one completely inexcitable node, and 2) about the relation of conduction time between normal and narcotised nerve fibres.

The results showed that a nerve impulse could jump over at least one completely inexcitable node and that in such a case the conduction time was somewhat shorter than that for a normal nerve fibre.

(Department of Physiology, Med. Faculty, Univ. of Keio-gijuku)

麻痺した1絞輪を越えての跳躍傳導に関する研究 612.816.3

(第3報) 麻酔薬による興奮傳導順序の逆轉現象について

Studies on the Electro-saltatory Transmission of the Nerve Impulse Beyond
an Inexcitable Node of Ranvier.

(Part III) On the Phenomenon of Order Inversion of the Saltatory Transmission
of the Nerve Impulse by Narcotics.

内 村 俊 雄 (Uchimura-Toshio)*

I. 緒 言

Erlanger 及び Blair¹⁾, Kato²⁾, 田崎³⁾ 等の実験によつて、有髓神経纖維に於ては、興奮は「ラ」氏絞輪に生じ、偽作流を媒介として、1絞輪より次ぎの絞輪へと次ぎ次ぎに跳躍傳導されることが明らかにせられ、又この偽作流は田崎⁴⁾によつて1~2個の麻痺した絞輪を飛び越えて次の絞輪に興奮を起すことの可能なことが証明され、同様のことを根岸⁵⁾も実証している。ところが田崎⁶⁾は單一神経纖維の隣接した2個の絞輪の間に種々の強さの分極電圧を作用させた時に、各絞輪の偽作起電力を発現して行く順序が絞輪の配列の順序と違つて、興奮傳導の部分的な逆轉が起ることを観察している。そしてこの現象については、与えられた分極電圧によつて電気緊張が生じ、各絞輪の偽作流並びに閾値が変化することに因るものであることを述べている。そこで余は、電気緊張によらずに、麻酔薬を使用することによつても同様の逆轉現象が証明し得られるものではないかとの推定のもとに実験を行つたところ、豫期した結果を得たので茲に報告する。

II. 実験方法

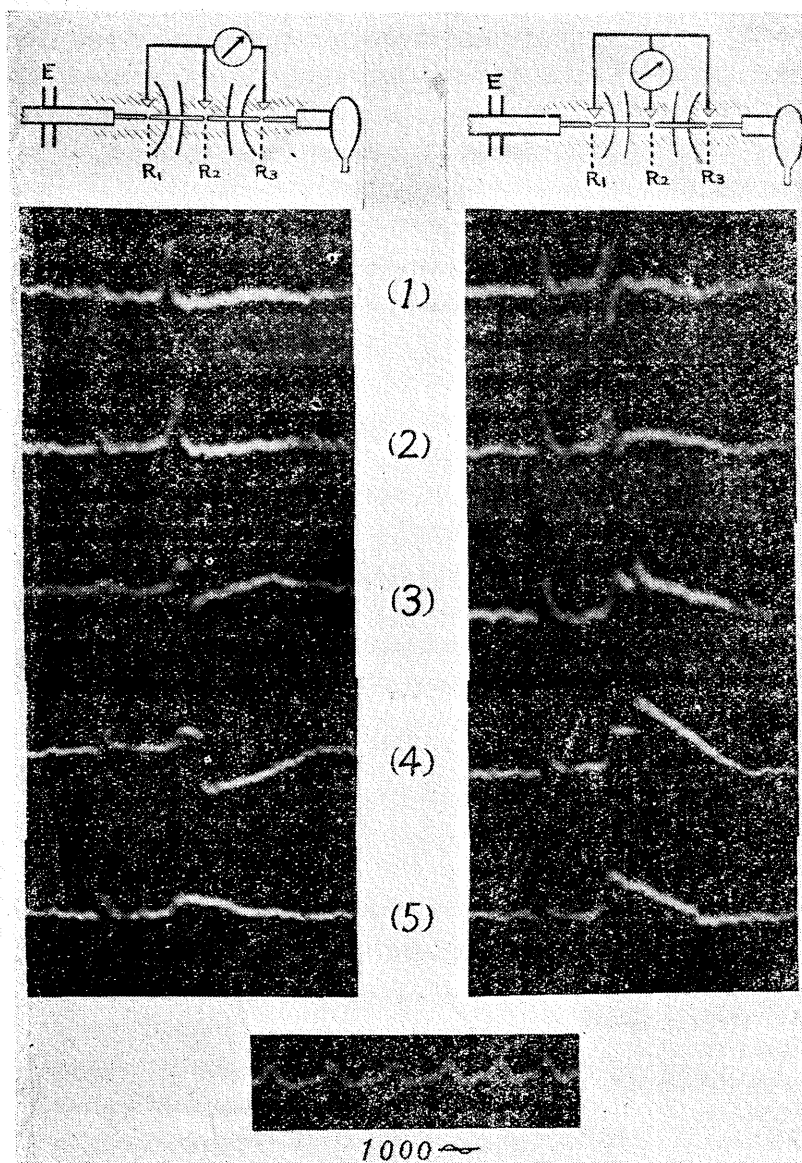
実験方法は第1報に於て述べた場合と殆んど同様なるため簡単に記載する。即ち標本はgammaの剔出單一神経纖維を用い、田崎の髓鞘乾燥法により、3枚のガラス板にて夫々3つの Ringer 液溜りを作り、中央の溜りに「ラ」氏絞輪1個

を浸し、髓鞘部をそれぞれガラスの空気間隙に渡して乾燥せしめた。偽作流の誘導法は第1図Aの如く1つは電流計を末梢側の2つの電極の間に他はBの如く絞輪 R_2 の形質膜を通して流れる電流が直接観察されるような位置に連結した。刺戟方法は標本近心神経幹部を inductorium によつて刺戟した。猶本実験の目的上麻酔薬の濃度は完全麻酔の爲には3% urethane-Ringer 溶液を、半麻酔には1.5% 溶液を用い、更に多少絞輪の偽作流を減弱させる目的には極く薄い濃度から漸次高めて0.3% 程度までの麻酔薬溶液を用いた。

III. 実験成績

以上の実験方法によつて得られた結果を第1図について述べれば、1) 正常時の偽作流はA、B両誘導法によつてそれぞれ特長のある偽作流曲線を示している。A誘導法では上に向うフレは絞輪 R_1 及び R_2 に起因し、下向きのフレは R_3 によつて生じたものであり、B誘導法に於いては、2つの上向きのフレは R_1 及び R_3 によるものであり、中間の下向きのフレは R_2 の偽作起電力によつて生じたものであることを示している。2) 次ぎに絞輪 R_2 に1.5% urethane-Ringer 溶液を作用せしめると、Aでは上向きのフレの高さは幾分減少し、その中間に僅かな段階が認められる。これは麻酔薬によつて R_2 の偽作起電力が幾分減少し又閾値も僅かに増大したことによるものである。このことはBに於ける下向きのフレの減少によつてよく証明され

* 慶応義塾大学医学部生理学教室



室温 15°C

ている。3) 1.5% urethane-Ringer 溶液を R_2 に作用させた後、 R_1 に極く薄い濃度の麻酔薬溶液から僅かづゝその濃度を高めてゆき丁度 0.3% の薄い urethane-Ringer 溶液を作用せしめたとき R_1 の偽作流の後に直ちに、A では下向きのフレ、即ち R_3 による偽作流が認められ、次いで R_3 の偽作流の中に小さく R_2 の上向きのフレが見られている。これ等のことは B に於ても同様観察され2つの上向きのフレ、即ち

R_1 , R_3 の偽作流に次いで R_3 の峯の直後に深い急激な下向きの切れ込みが現われている。これは当然 R_2 の偽作起電力によるものと考えられる。

4) これを明瞭にするために、更に3%の濃い urethane-Ringer 溶液を R_2 に作用させると、 R_2 は完全に麻痺されて R_2 による偽作流が見られなくなっている。即ちこれを3) に比較すれば A では明瞭に上向きの小さなフレが無くなり完全な単絞輪性の形を示し、B でも R_3 の偽作流の後に下向きの切れ込みが無くなつて大きく直線的となつている。5) 次に下側の絞輪 R_3 に3% urethane-Ringer 溶液を与えると R_3 の偽作流は消滅し、A では R_1 による上向きの偽作流と同じ高さの偽作流のみとなり、B に於ても R_3 による偽作流が消滅し

て R_1 による単絞輪性の偽作流のみとなつている。

以上のことから R_1 に0.3%, R_2 に1.5% の urethane-Ringer 溶液を作用させたときには明らかにその傳導順序が逆轉して、 R_1 に次いで R_3 が先に興奮しその後で R_2 が興奮したことを知るのである。

IV. 考 察

余は最初第1図に於ける絞輪 R_2 にのみ種々の濃度の麻酔薬溶液を作用せしめて、この逆轉現象を追求したのであるが、容易に証明し得られなかつた。というのはこの場合には絞輪 R_2 にその興奮性を消失せしめない程度の可成り濃い麻酔薬溶液を作用せしめなければならない関係上 R_2 による伝作流が極く小さいものとなり、実際に於て殆んど不明瞭なものであつたことによるものである。

そこで本実験の如く、 R_2 には1.5% urethane-Ringer 溶液を作用せしめ、 R_2 による伝作流を可成りよく認め得る程度にしておき、然る後 R_1 に極く薄い濃度の urethane-Ringer 溶液を作用せしめ漸次この濃度を僅かづゝ高めて行く方法をとつたのである。その結果本実験成績に示すように、 R_1 に0.3% urethane-Ringer 溶液を作用せしめるに及んで始めて逆轉現象を証し得たのである。即ちこのとき R_2 は1.5% の麻酔薬溶液により閾値が著しく上昇し、 R_1 から R_2 間の傳導時間が延長したために、絞輪 R_1 の出した伝作流によつて、まづ麻酔されていない閾値の小さい絞輪 R_3 が先に興奮し、その後 R_2 が興奮する結果となり、神経衝撃は R_2 を越えて R_1 から R_3 に達し末梢に向つて傳導して行つたものと考えられるのである。

Ⅶ. 摘 要

Summary

In a "single nerve fibre muscle preparation" the nerve impulse initiated by the stimulus applied at C (see the figure) is transmitted from Ranvier node R_1 to R_2 and from R_2 to R_3 . However, when 1.5% urethane-Ringer solution is applied to R_2 , and 0.3% solution to R_1 , then the impulse can be conducted from R_1 directly to R_3 and then from R_3 to R_2 .

(Department of Physiology, Med. Faculty, Univ. of Keio-gijyuku)

余はガマの別出單一神経纖維を用い、田崎の髓鞘乾燥法に従い、麻酔薬 (urethane-Ringer 溶液) を使用して興奮傳導順序の逆轉に関する條件を追求し、次ぎの結果を得た。

即ち「ラ」氏絞輪 R_2 に臨界濃度に達せざる麻酔薬溶液 (1.5%) を作用せしめ近心側 R_1 に更に薄い麻酔薬溶液 (0.3%) を作用せしめるに及んでその傳導順序は $R_1-R_2-R_3$, より、 $R_1-R_3-R_2$ と逆轉した。

(本論文の要旨は、第28回日本生理学会総会において口演した)。

終りに臨み、懇篤なる御指導と御校閲を賜りました加藤教授並びに 終始絶大なる御支援と御鞭撻を頂きました山田講師、丸橋助手に心から感謝致します。

文 献

- 1) Erlanger, J. and E. A. Blair (1934-35) Manifestation of segmentation in myelinated axons. *Am. J. Physiol.* 110, 287
- 2) Kato, G. (1936) On the excitation, conduction, and narcotisation of single nerve fibres. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, Vol. IV, 211
- 3) 田崎一二 (1944) 神経纖維の生理学 1:3, 1; 4, 2:1 東京 河合商店
- 4) Tasaki, I. (1939) The electro-saltatory transmission of the nerve impulse and the effect of anoxia upon the nerve fiber. *Am. J. Physiol.* 127, 211
- 5) 根岸雅夫 (1940) 麻痺せる Ranvier 氏括約輪を越えての興奮傳導 慶応医学 20, 9, 939
- 6) 田崎一二 (1944) 神経纖維の生理学 5:2 東京 河合商店

通電による骨格筋線維の短縮性の回復について 612, 014, 424, 4

On the Recovery of Contractility of the Striated Muscle Fibers under Various Conditions by Electric Current.

川 田 深 太 郎 (Kawada-Fukataro) *

I. 緒 言

木村¹⁾は疲労した筋線維又は切り出して長時間経過し通常の方法によつて刺激するも全く反応を示さない筋線維でも電流の作用によつて其の短縮性を回復させ、其の後繰り返して数万回の短縮を行わせ得ることが可能であることを報告した。斯様な場合に短縮性の回復並に持続のためには筋線維の二重層電位の保持が重要な役割をもつと述べている。將して木村の推定の如くであれば一沃度醋酸で中毒させた筋線維又は乳酸中に浸した筋線維等に於ても電流によつて其の短縮性の回復が可能ではなからうかと考えて之等の事柄に就いて実験を行つた。

II. 実験方法

1) 実験材料

実験に用いた筋線維は墓の M. sartorius, M. adductor-longus, M. adductor magnus 等から分離した数本の筋線維であつた。

2) 通電方法

筋線維に電流を導く方法、即ち筋線維の短縮性を知る爲に短縮を起させる刺激電流を流す方法及短縮性の回復をはかる爲の通電方法は木村¹⁾が用いたものと殆んど同様であつた。併し電流の閉鎖及び開放に就ては木村の如くメトロノームによつて水銀電鍵を開閉した他にサイクロンを用いた装置から電磁石に電流を

導き之によつて電鍵を開閉する方法も用いた。

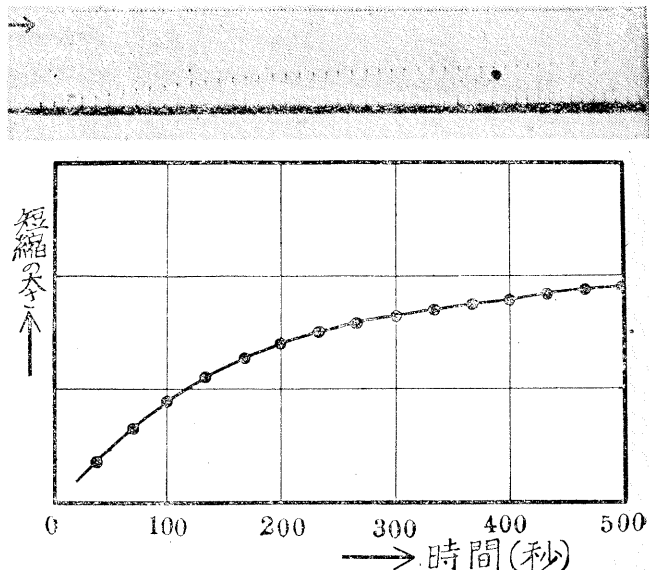
3) 描記装置

筋線維の短縮は光槓桿によつて Bromid 紙に描記したのであるが、其の際用いた光槓桿其の他の描記装置は木村¹⁾の用いたものと同一のものを用いた。

III. 実験成績

1) 短縮性回復の時間的経過

筋線維を電極箱及光槓桿に固定した後短時間(約0.1sec)の陰通電(筋線維に就て短縮を観察する側が陰極になる如く電流を流すこと、以下

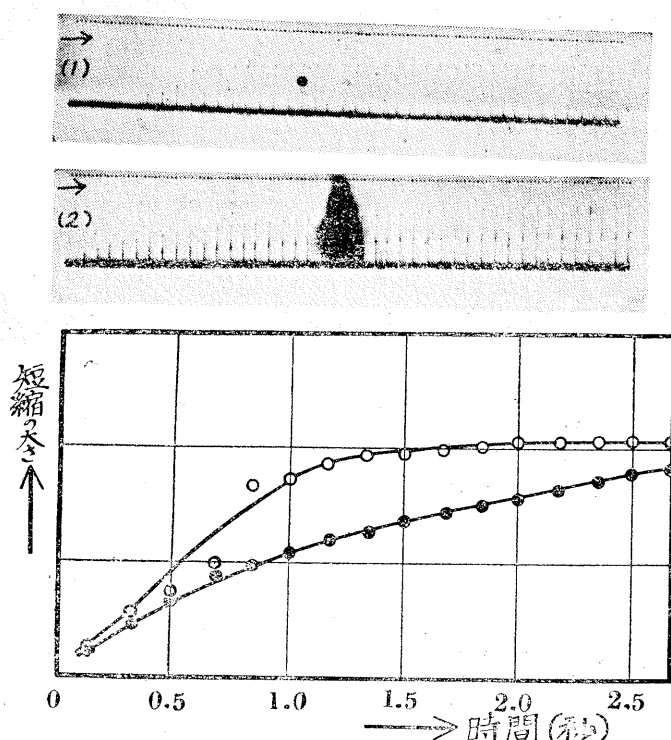


第1図 陽通電による短縮性の回復の経過 1950, 4月8日, Z. T.: 11.0°C, R. T.: 11.0°C. 墓(♀, 280g)の M. adductor longus から分離した筋線維を 1.2V の陰通電を持続的(15分)に加え全く短縮しない状態としてから 1.2V の陽通電及び開放を 1Csec 毎に繰り返した場合の短縮性回復の経過。

A: 短縮曲線, 時標 3sec

B: A 図の短縮高から得た短縮性の回復の経過

* 前橋医科大学生理学教室



第2図 陽通電の強さと短縮性の回復経過の関係

1950, 4月6日, Z. T.: 14.0°C, Z. T.: 13.0°C. 蟻 (♀, 200g) の *M.adductor longus* から分離した筋線維に 1.2V の陰通電 (5分) によつて全く短縮不能の状態にして後持続的陽通電を行いつつ毎分6回の陰通電刺激によつて見る短縮性の回復の経過

A: 短縮曲線, 時標: 3sec

1) 陽電圧: 2.6V, 陰電圧: 1.2V

2) 陽電圧: 1.2V, 陰電圧: 1.2V

B: A 図の短縮高から得た短縮性回復経過

同じ) によつて短縮が起るか否かを検査し若し短縮が現れる時は更に持続的に陰通電を行い再び上述の方法を適用しても短縮が現れる時は更に持続的に陰通電を行い再び上述の方法を適用しても短縮が全く現れない様になつた後陽通電及び其の開放を1分間40~70回の割合に於て繰り返し (通電時間 0.85~3.0sec, 開放時間 0.85~4/100sec) 其の開放に際して現れる短縮の大きさを以つて短縮性の回復の目標とした。但し此の際現れる短縮は筋線維全体に傳播されることなく主として電流の作用した部分又は其の近傍にのみ傳播される所謂持続性短縮⁷⁾である。斯の様な方法によれば短縮性の回復は通電の始めから徐々に起り3~5分の後に最大に達しその後通電を持続すれば短縮性は殆んど一定の程度に

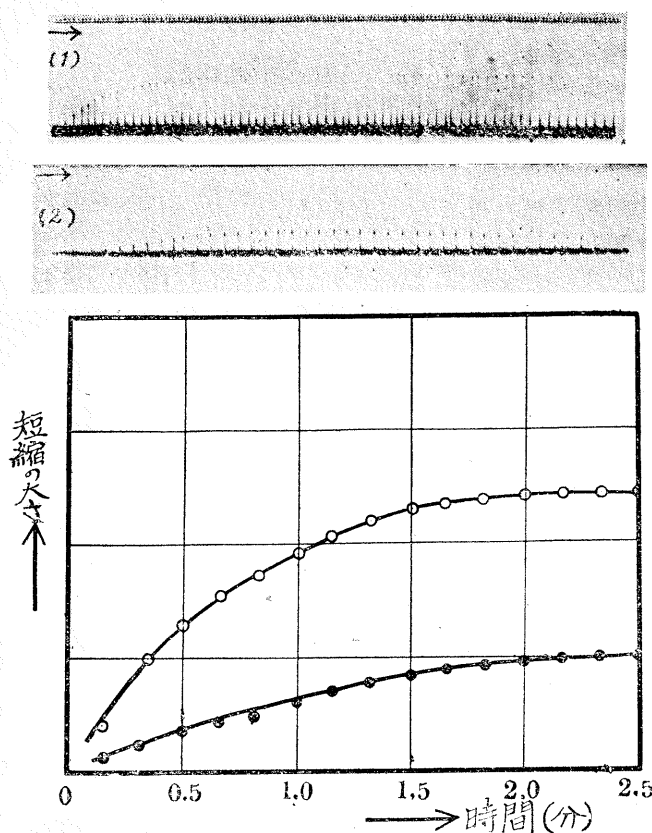
保たれた (第1図)。此の際陽通電の電圧が大きい程短縮性の回復は速やかであるが (第2図), 電圧が相当に大きい場合でも短縮性の回復はそれほど速くはならない。又陽通電の電圧が大きい場合の方が回復の程度が定常状態になつた場合に現れる短縮が大きい (第2図) から短縮性の回復も大きい所まで達して, 然る後に定常状態になるものと思われる, 併し同じ強さの陽通電によつて起る短縮性の回復も短縮を起させる刺激電圧が小なるときは短縮は小さい (第3図) から單に現れる短縮の大きさだけから短縮性を比較することは困難な場合がある。

2) 陰通電による短縮性の消失
筋線維を電極箱に固定して直に陰通電による刺激を繰り返せば始めは大きく短縮するが短縮高は急速に減少して間もなく全く短縮しなくなる。即ち短縮性消失の経過は第4図に示した如くである。持続的に陰通電を行う場合にも短縮性の消失の経過は同様である。こ

のことは既に松本, 佐竹⁷⁾, 或は木村¹⁾の報告にもみられる。尚陰通電を持続しつつ其の上に陰通電刺激を繰り返す場合にも陰通電刺激のために起る短縮の大きさは急速に減少し (第5図), 短縮性の速やかな消失がみられる。

3) 陽通電の強さと短縮性の平衡状態

種々の強さの陽通電を持続的に行いつつ一定の強さ及び期間の陰通電刺激を或る頻度で反復すれば陽通電の強さが小なるときは短縮高は次第に減少し, 陽通電の強さが大きい時は短縮高は次第に増加する (第6図)。丁度陽通電の強さが適當のときは一定の高さの短縮が繰り返される様になる [第6図, (5)]。此の際陽通電の作用は筋線維が自然の状態に於て失つて行く短縮性と短縮を起すための陰通電及短縮したゝめの短



第3図 陽通電による短縮性の回復の経過 1950, 4月8日, Z. T.: 11.0°C, R. T.: 11.0°C. 蟻 (♀280g) の M. adductor longus から分離した筋線維に 1.2V の持続的陰通電を (15分) 行い短縮不能の状態にして後持続的陽通電を行いつつ 10sec 毎に陰通電刺激を反復した場合の短縮性回復の経過

A : 短縮曲線, 時標: 3sec

1) 陽電圧: 3.0V, 陰電圧: 1.6V

2) 陽電圧: 3.0V, 陰電圧: 1.2V

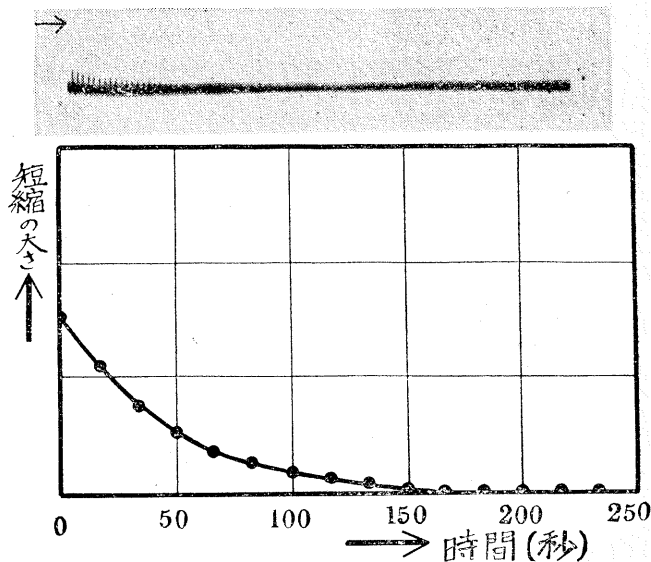
B : A 図の短縮曲線から得た短縮性回復の経過

縮性の消失を丁度補償していることになる。斯る際の陽通電の強さは陰通電による短縮を起させるための刺激電圧及び頻度に関係するであろうことは勿論なるも其の詳細な関係は将来の研究にまたなければならない。

4) 一沃度醋酸中毒筋線維の短縮性の回復に就て

一沃度醋酸溶液 (4%) をフェノールフタレインを示標として炭酸ソーダ溶液で中和し之を蟻に注射し (prokilo 0.4g) 約30分後蟻が中毒したと思われるに至つて蟻を運動させれば蟻は中毒の爲漸時の後運動不能になるが、此のとき之を殺して之より得た筋線維を一沃度醋酸加 Ringer 氏液 (0.01%) を容れた電極箱に固定し更に陰通電によつて全く短縮し得ない状態となし、然る後陽通電及び其の開放 (1分間約40回) を繰り返し其の際起る短縮の大きさによつて短縮性が回復されるか否かを観察した。

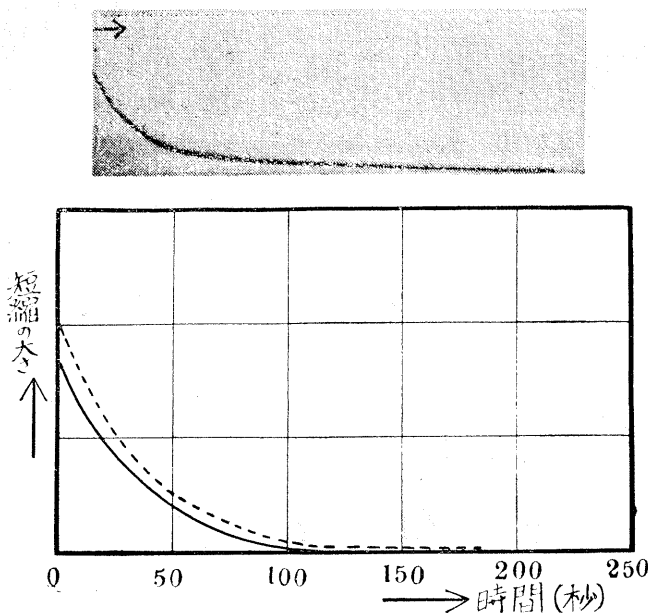
其の結果は始め数回は短縮高は非常に小さいのであるが陽通電及び其の開放を繰り返すうちに短縮高は次第に大となり 1~3 分の後には相当の大きさの短縮が現れる様になる。かくして 5~10 分後に短縮の大きさは最大に達し其の後徐々



第4図 陰通電による短縮性消失の経過 1950, 4月9日, Z. T.: 120°C, R. T.: 11.0°C. 蟻 (♀250g) の M. adductor longus から分離した筋線維に陽通電を加えないで 2.6V の陰通電刺激を毎分18回の頻度で加えた場合の短縮性消失の経過

A : 短縮性線, 時標: 3sec

B : A 図の短縮高から得た短縮性回復の経過



第5図 陰通電による短縮性の消失 1950, 4月8日, Z. T.: 11.0°C, R. T.: 11.0°C. 藁(♀, 280g)の M. adductor longus から分離した筋線維に 1.2V の陰通電を持続的に行いつつ 1.2V の陰刺激を毎分18回の頻度で加えた場合の短縮性消失の経過

A: 短縮曲線, 時標 3sec

B: A 図の短縮高から得た短縮性消失の経過 (実線) 点線は持続的短縮に加重されて起る短縮高の減少の経過

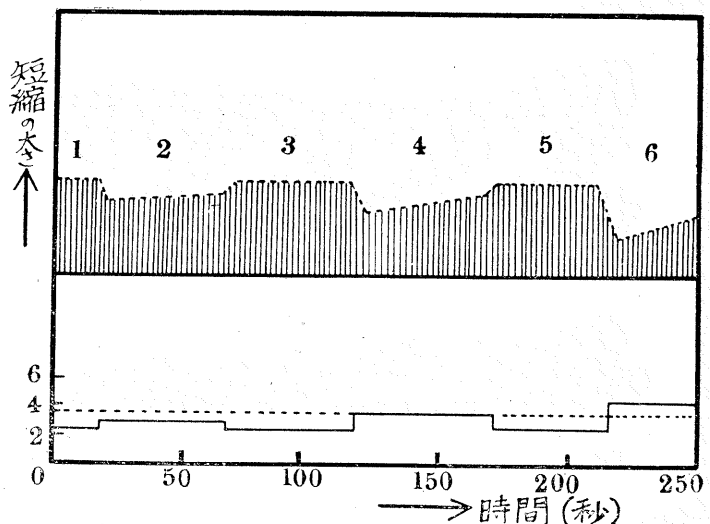
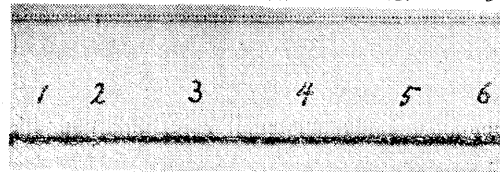
に短縮は小となり40分~2時間 (1600~4800回) 後には短縮高は最大のものの 1/5 位になった (第7図). 此の際更に陽通電を 1~3 分持続すれば其の後は再び相当の大きさの短縮を繰り返させることが出来た. 筋線維を取り出すに先立つて一沃度醋酸で中毒させない通常の藁から切り出した筋線維を一沃度醋酸溶液中で上と同様な実験を行つた場合に於ても殆んど同様な結果を得た (第8図).

従来一沃度醋酸で中毒した

筋に於ては繰り返して短縮を起させて一度筋が短縮し得なくなつた場合には再び短縮し得る状態に戻すことは出来ないものと考えられておつたのであるが⁵⁾, 上述の如く電流の作用によつて筋線維は再び短縮し得る様になることが示された. 併し此の際短縮を反復させ得る回数は通常の筋線維に比較して小であつた.

5) 乳酸加 Ringer 氏液中に於ける筋線維の短縮性の回復

電極箱中に乳酸加 Ringer 氏液 (0.01%) を入れ之の液中に於て陰通電によつて筋線維を全く短縮しない状態にして後陽通電によ



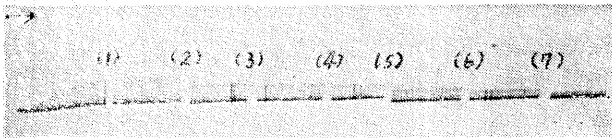
第6図 陽通電の強さと短縮性の増加及び減少の状態

1950, 4月8日 Z. T.: 11.0°C, R. T.: 11.0°C 藁(♀, 200g) の M. adductor longus から分離した筋線維に種々の強さの陽通電を行いつつ一定の強さの陰通電刺激 (3.6V) によつて起る短縮性の増加及び減少の状態.

A: 短縮曲線, 時標 3sec.

(1): 2.2V, (2): 3.0V, (3): 2.0V, (4): 3.6V, (5): 2.2V, (6): 4.6V.

B: A 図の短縮高から得た短縮性の消長 (上) 下の点線は陰通電刺激の強さを示し実線は持続的陽通電の強さを示す



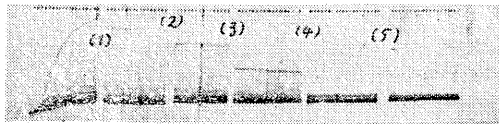
第7図 一沃度醋酸中毒筋の短縮性の回復 1951, 4月24日
Z. T.: 17.0°C, R. T.: 18.0°C 慕 (♀, 170g, 4%の一沃度醋酸を1.3cc注射30分後殺す)の M. adductor longus から分離した筋線維に毎分40回の頻度で陽通電 (3.0V) 及び開放を繰り返して得た短縮曲線。

1), 2), 3), 4), 5), 6), 7): 夫々5分間描記中止
短縮持続: 50分, 2,000回。時標: 3sec



第8図 一沃度醋酸加 Ringer 氏液中に浸した筋の短縮性の回復 1951, 4月21日, Z. T.: 18.0°C, R. T.: 17.0°C 慕 (♂, 150g) の M. adductor longus を一沃度醋酸溶液中 (4%) に20分間浸し此れより分離した筋線維に毎分40回の頻度で陽通電 (3.0V) 及び開放を繰り返して得た短縮曲線。

1), 2): 夫々3分間描記中止。短縮持続: 8分16秒, 324回
時標: 3sec

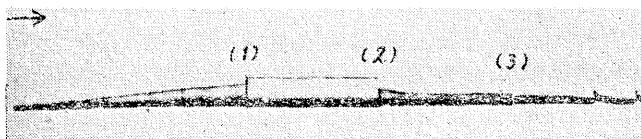


第9図 乳酸加 Ringer 氏液中に於ける短縮性の回復

1951, 4月23日, Z. T.: 14.0°C, R. T.: 13.0°C 慕 (♂ 170g) の M. adductor longus から分離した筋線維を乳酸加 Ringer 氏液 (0.01%) 中に於て陰通電 3.0V により短縮不能の状態にして後陽通電 (3.0V) 及び其の開放を (毎分約40回) を反復して得た短縮曲線。

1): 5分間描記中止, 2), 3), 4), 5): 夫々10分間描記中止

短縮持続: 50分30秒, 2020回。時標: 3sec



第10図 NaCl 溶液中に於ける短縮性の回復

1949, 11月26日, Z. T.: 15.0°C, F. T.: 16.0°C 慕 (♀, 150g) の M. adductor longus から分離した筋線維に NaCl (0.7%) 溶液中に於て 7.0V の陰通電を10分間加え短縮不能の状態にして後 7.0V の陽通電及び開放を毎分70回の頻度で行う際の短縮性の回復経過

1), 2), 3): 夫々5分, 15分, 5分描記中止

短縮持続: 35分, 2,450回。時標: 3sec

つて短縮性が回復される状態を陽通電開放又は短期間の陰通電によつて起る短縮高によつて観察したのであるが陽通電及び開放を反復する毎に筋線維は次第に大きな短縮を現す様になり1~3分の間には短縮は最大に達し其の後約5分は大体同様短縮なが繰り返され次いで短縮は次第に小となりて30~60分 (2000~4000回) の後には最大の短縮

の1/5位の大きさになつた (第9図)。併し此の場合に於ても更に強い陽通電を1~2分加えれば再び相当の大きさの短縮が起り得ることが示された。

筋の疲労に際しては筋内に所謂疲労物質が蓄積して此れが疲労の原因をなすものゝ如く考えられ、且つ疲労物質の

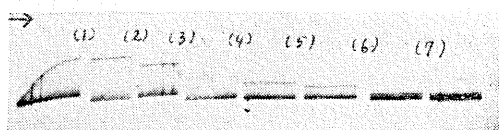
主なるものゝ1つは乳酸であると考えられているのであるが乳酸が存在する溶液中に於ても電流の作用によつて筋線維の短縮性の回復、即ち疲労の回復が得られることが上述の実験成績から明瞭になつた。

6) 各種の ion の存在と短縮性の回復

a) NaCl (0.7%) 溶液中に於て陰通電によつて全く短縮し得ない状態にした筋線維に於ても陽通電及び其の開放を繰り返せば (1分間70回) 3~5分後には大きな短縮を示す様になり、其の後とは同じ大きさの短縮を繰り返し、後に次第に小となり30~60分の後には始めの短縮高の1/5位になつた (第10図)。此の場合に見られる特徴は基線の変化が全く現れないことである。

b) NaCl (0.6%) + CaCl₂ (0.04%) 溶液中に於ても陽通電によつて短縮性の回復は a) の場合と同様に現れる (第11図)。 c) NaCl (0.6%) + KCl (0.04%) 溶液中に於ける短縮性の回復も a) 又は b) の場合と同様であつた (第12図)。

7) 無酸素 Ringer 氏液中に於ける

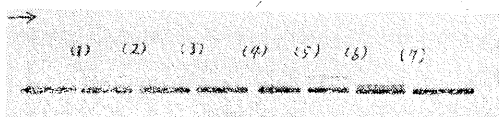


第11図 NaCl + CaCl₂ 溶液中に於ける短縮性の回復

1950, 12月1日, Z. T.: 8.4°C, F. T.: 7.5°C 蕨 (♂, 275g) の M. adductor longus から分離した筋線維を NaCl (0.6%) + CaCl₂ (0.04%) 溶液中に於て 7.0V の陰通電を加え短縮不能の状態にして後 7.0V の陽通電及び開放 (毎分40回) を反復したときの短縮性の回復の経過。

描記中止時間: 1) 15分, 2) 10分, 3) 15分, 4) 15分, 5) 15分, 6) 15分, 7) 15分

短縮持続: 92分, 5,030回。時標: 3sec



第12図 NaCl + KCl 溶液中に於ける短縮性の回復

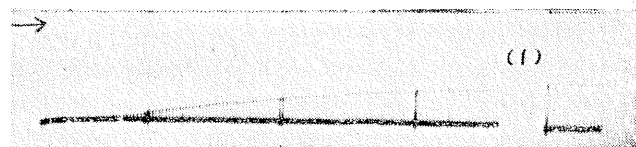
1950, 12月1日, Z. T.: 8.4°C, F. T.: 7.5°C 蕨 (♂, 275g) の M. adductor longus より分離した筋線維を NaCl (0.6%) + KCl (0.04%) 溶液中に於て 7.0V の陰通電を加え短縮不能の状態にして後 7.0V の陽通電及び開放を反復 (毎分40回) した場合の短縮性回復の経過。

描記中止時間: 1) 5分, 2) 10分, 3) 15分, 4) 15分, 5) 15分, 6) 15分, 7) 15分。

短縮持続: 91分, 3,640回, 時標: 3sec

短縮性の回復

蒸留水を30~40分煮沸して酸素を除去し之の水を用いて Ringer 氏液を作つた後更に30分煮沸し其後液の表面を流動 Paraffin を以つて覆つた。此の際蒸留水及び Ringer 氏液の中の酸素の



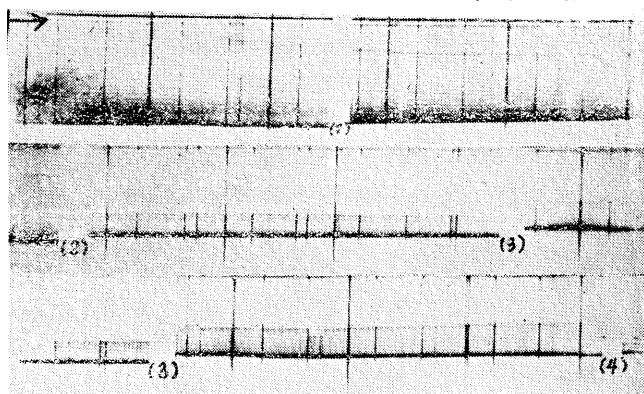
第13図 無酸素 Ringer 氏液に於ける短縮性の回復

1951, 2月6日, Z. T.: 9.0°C, R. T.: 8.0°C 蕨 (♀, 190g) の M. adductor longus から分離した筋線維に無酸素 Ringer 氏液中に於て 7.0V の陰通電を10分間行い短縮不能の状態にして後 7.0V の陽通電及び開放刺激を反復して得た短縮性回復の経過。描記中止時間: 1): 6分。時標: 3sec

存在の程度はピロガロール法によつては僅に陽性を示したが斯る処置を施さない対照液に比較して著しい相違があり、又小さい鮎を此の蒸留水又は Ringer 氏液に入れれば1~2時間で活動性を失つたが対照液中では1~2日は変化が見られなかつた。即ち上述の Ringer 氏液中には全く酸素が存在していないわけではないが通常のものに比較して酸素を含むことが極めて少ないものと見做される。

之の Ringer 氏液を電極箱に容れ筋線維を陰通電によつて全く短縮し得ない状態にし後陽通電及び其の開放を繰り返せば短縮の大きさは次第に大となり3~5分後には大きな短縮を示す様になり其の後はその大きさの短縮が30~60分位続き、後短縮は次第に小となつた。

短縮の大きさが最大のものの1/5位になるまで



第14図 無酸素 Ringer 氏液中に於ける短縮性の持続

1951, 2月17日, Z. T.: 10.0°C, R. T.: 9.0°C 蕨 (♀, 220g) の M. adductor longus から分離した筋線維に無酸素 Ringer 氏液中に於て 4.6V の陽通電及び開放を反復 (毎分20回) した場合の短縮性回復の経過。

描記中止期間: 1), 2), 3), 4): 夫々60分

短縮持続: 4時間, 4,800回。時標: 3sec

には3~5時間に3600~6000回の短縮が繰り返された (第13図)。

筋線維が始めから相当の大きさの短縮を示す場合には陽通電及び開放を繰り返すと長時間多数回の短縮を繰り返させる事が出来た (第14図)。即ち筋線維の短縮性は殆んど酸素が存在しないと考えられる Ringer 氏液中に於ても電流的作用によつて回復可

能であることが示された。

Ⅳ. 考 按

木村¹⁾によれば筋線維の短縮性は筋線維の電気二重層が重要な要因であつて二重層電位を高めることによつて短縮性は回復されると推定されたが此の事柄は余の実験成績に於ても同様であつて陽通電によつて短縮性が回復され逆に陰通電によつて短縮性は速やかに消失する。併し陽通電によつて起る分極電位の成生から推定される二重層電位の変化と比較して非常にゆるやかな経過をとる。此の事柄から考えれば二重層電位を高める事のみでは筋線維の短縮性は回復されないであろうことが推定され二重層電位が高まることと平行して、又は二重層電位の高まることが原因となつて筋線維内に更にゆるやかに進行する他の過程が伴つて始めて短縮性の回復が得られるものと如く考えられる。佐藤⁶⁾の報告によれば筋に陽通電又は陰通電を行えば上述の短縮性の回復の経過と夫々丁度符合する如き経過をとる Impedance の減少及び増加が現れる。此等の関係は膜の透過性の変化と短縮性の回復との関連性に就て重要な事柄を示すものであらうと思われる。尙陽通電の電圧が大であれば短縮性は次第に増加、小であれば次第に減少し電圧が丁度適當の値のとき短縮性は一定に保たれる。此の場合に於て陽通電の作用は筋線維から自然的に消失しつつある短縮性、短縮性を観察するために筋に加える陰通電による短縮性の消失並にそれによつて現れた短縮等のために失われる短縮性を丁度補償するものと考えられる。従つて斯る電圧は筋の温度、刺激の強さ及び其の期間或は其の回数等に依存するであらうことは容易に推定されるが詳細な関係は將來の研究にまたなければならない。

2) 從來一沃度醋酸中毒筋に於ては繰り返して短縮させ一度短縮し得ない状態にすれば通常の筋に見られる如き所謂疲労の回復は起らないものと考えられている。然るに余の実験に於ては陰通電によつて全く短縮し得ない状態にした後に於ても陽通電又は陽通電の開放刺激を繰り返す事によつて次第に大きな短縮を現す様になる事、即ち短縮性が回復された事が示された。之等の場合に於て筋内燐源質の状態は實際如何なるものであるかを明かにする事は重要な事柄であるが將來の研究に待たなければならない。

3) 各種無機塩類の溶液中に於ける短縮性の回復を見るに KCl, CaCl_2 等は存在しない場合でも NaCl の存在によつて短縮性は回復される。併し此の際 NaCl だけが短縮性の回復に必要であり他のものでは短縮性の回復は不可能であるか否かは明らかでない。併し Ca イオンが無くても短縮性が回復されることは注目に値することである。

4) 從來筋の疲労の回復過程には酸素が必要であり酸素が存在しない場合には疲労回復の進行は困難であることが示されておるが之は生体内に於ける筋又は切り出した筋を放置する場合であつて此の場合に於ける短縮性の回復は筋内に於ける物質代謝が原因となつて筋内の電氣的状態の変化が起り之が筋の疲労回復を起すものと考えれば電流の作用によつて短縮性の回復をはかる際には酸素の存在は必要ではなくなるわけである。將して然りとすれば此の際の短縮性の回復は如何様に行われるかを考えるに勿論確定的なことは判明しないが短縮性の回復は恐らく酸素の存在に於て筋内に於て起るであらう化学過程を経て起ると考えなければならない。併し電流の作用が酸素を必要とする化学変化の媒介なしに短縮性の回復をもたらすことが可能であると言ふわけではない。とに角從來考えられて居つた如く酸素を必要とする化学変化は筋の短縮性の回復に當つては直接且つ不可欠の要因ではないことが示されたわけで短縮性の回復に就ては從來と全く異なる新たな出発点が要求される訳である。以上各組の実験成績について論議した如く之を要するに筋線維の短縮性の回復に於ては從來不可欠の要因と考えられた如き種々の条件なしに、凡らく筋線維を構成する實質的機構が或る程度保持されている限り電流の作用によつて常に短縮性の回復が可能である如く見える事は此の問題に対する將來の研究に対し極

めて重要な事実を提供するものと考えられる。

V. 総 括

蟾の *M. sartorius* 其の他の筋から分離した数本の筋線維を杉の隔絶法類似の電極箱に固定し木村の用いた方法に従つて電流を流し、電流の作用によつて起る短縮の大きさを光槓桿に描記し、其の短縮高を目標として短縮性の回復の経過、種々の条件のもとに於ける短縮性の回復について実験し次の如き結果を得た。

1) 陽通電によつて起る短縮性の回復の経過は比較的ゆるやかに起ること、並に之の経過から短縮性の回復は電気二重層電位の回復だけでは可能でないとの推定に達した。

2) 筋が自然的に失う短縮性、刺激電流のため及び其れによつて起る短縮のために失う短縮性等は適當の強さの陽通電によつて補償し短縮性を一定に保つことが出来た。

3) 一沃度醋酸中毒筋に於ても陽通電によつて短縮性を回復させる事が出来た。

4) 乳酸加 Ringer 氏溶液中に於ても陽通電によつて短縮性は回復された。

5) NaCl (0.7%), NaCl (0.6%)+KCl (0.04%), NaCl (0.6%)+CaCl₂ (0.04%) 等の溶液中に於ても陽通電によつて短縮性は回復された。

6) 実験的には無酸素と見做し得る如き Ringer 氏液中に於ても陽通電によつて短縮性は回復された。即ち電流による筋線維の短縮性の回復は酸素を必要とする化学変化は伴わない様に思われる。

以上の結果から筋線維に於ける短縮性回復は従来必要とされた種々の条件なしに電流の作用によつて可能であることが示され之等の事柄は筋の短縮機序乃至短縮性の回復についての研究に対して新たな出発点を与えて居るものと見做される。

本研究に対する費用の一部は文部省科学研究費によつたものであることを附記する。

本論文の要旨の一部は日本生理学会第27回、28回総会及び第72回生理学東京談話会に於て報告した。

2) 3) 4)。

終りに臨み終始御懇篤なる御指導を賜つた恩師松本教授並に木村講師に謹んで謝意を捧げます。

文 献

- 1) 木村一雄 (1950) 通電による筋線維の短縮の持続及び回復並に短縮の大きさの変化に関する研究 日本生理誌 12, 91
- 2) 川田深太郎 (1950) 骨格筋線維の電流による短縮性の回復に就て 日本生理誌 12, 学65
- 3) 川田深太郎 (1950) 骨格筋線維を一沃度醋酸、乳酸等の溶液中に浸した場合の短縮性の回復に就て 日本生理誌 12, 272
- 4) 川田深太郎 (1951) 無酸素 Ringer 氏液中に於ける骨格筋線維の短縮性の回復並に保持に就て 日本生理誌 13, 49
- 5) 黒田林三郎 (1937) 筋源質に関する総説 日新医学 26, 521
- 6) 佐藤進一 (1951) 骨格筋線維の状態の変化と Impedance の関係 (第1報) 日本生理誌, 13, 49
- 7) 松本政雄・佐竹結実 (1945) Über die Längenänderung einer ausgeschnittenen quergestreiften muskelfaser infolge der Einwirkung des elektrischen Stromes. Jap. J. of Med. Sci. III Biophysics 10, 307

Summary

It was recently reported by Kimura, that the contractility of the striated muscle fibers could be recovered by the effect of electric current. In the present work, as a continuance of his experiment recovery time course of contractility of muscle fibers under various conditions was studied.

The method of experiment was almost the same to that of Kimura. Several fibers of *m. sartorius* etc. of a frog or bullfrog were used. They were fixed through the separating wall of so called Sugi's isolating vessel. The current was led from Ringer's solution in the both sides of the separating wall. The contractions of the muscle fibers were recorded by means of an optical lever and the grades of contractility of the muscle fibers were compared with the heights of contraction for the stimulation of the same intensity. The results are:

1) The time course of the recovery process of the contractility by applying anodic current is at first rapid and then became somewhat slow until it reached maximum in 2-5

minutes.

2) By applying cathodic current the contractility decreased at first rapidly and then slowly until it became zero.

3) The contractility of the muscle fibers, which had been immersed in solution of mono-jod-acetic acid and had completely lost their contractility, was recovered by the effect of anodic current. In Ringer's solution containing lactic acid (0.01%), the contractility was recovered quite well.

4) In O_2 -free Ringer's solution, the contractility was recovered by anodic current, and if the fibers had contractility from the beginning, they could be contracted by stimulation of break of the anodic current 4,000-5,000 time in 3-4 hours.

(Physiological Inst. of Medical Faculty, Gumma Univ.)

子宮筋の変形電位に就て 612.743

On the Deformation Potential of the Uterus.

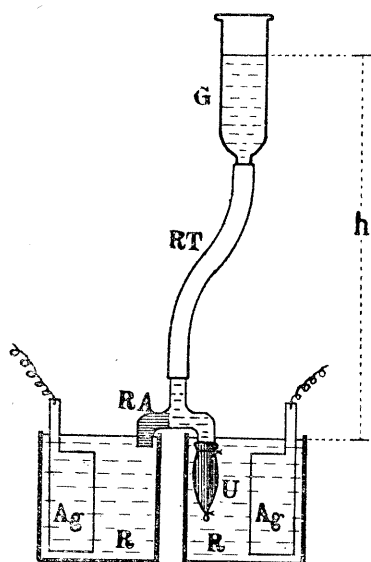
川田深太郎・町田都乎 (Kawada-Fukataro・Machida-Kunio)*

I. 緒言

沢野¹⁾は平滑筋及心筋に於ても骨骼筋と同様に之を伸展すれば伸展部位は他の部位に比して電氣的に負になること、即ち変形電位が現われることを報告したが、平滑筋の1つである子宮筋に於ても伸展によつて変形電位が現われるであろうことは容易に想像される。妊娠の際に子宮拡大に基づく変形電位が現われ、之が分娩発來に何等かの関係を有するであろうと推定することも可能である。そこで余等は子宮筋の変形電位に就て実験を行つたのである。

II. 実験方法

剔出した子宮を隔絶箱に固定して伸展する実



第1図

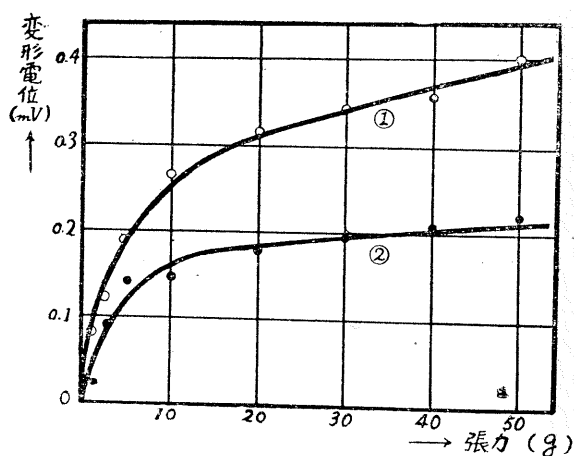
G: Ringer氏液を満したガラス容器
R. T. ゴム管. R. A. 3% Ringer
寒天. U: 家兎子宮. R: Ringer氏
液. Ag: 銀板

* 前橋医科大学生理学教室

験に於ては、沢野¹⁾が平滑筋の変形電位を実験する際に用いた方法と同一であるが、子宮の一端を閉ちて内面より圧力を加えて之を拡張する実験に於ては第1図の如くして水压を加え、内外両面に起る電位の変化を測定した。その際用いた電氣的連結法は沢野¹⁾が用いたものと同様である。実験材料としては成熟非妊家兎の子宮を切り出して5分~1時間以内のものを用いた。

III. 実験成績

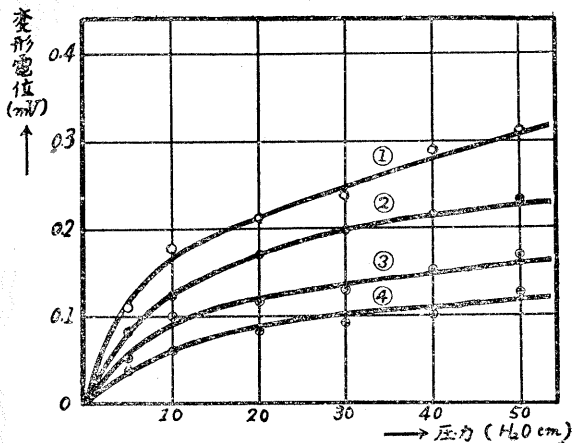
1) 剔出した子宮を隔絶箱に固定してその一端に結びつけられた糸を介して荷重を加え之に張力を加えれば伸展されるに従つて変形電位が現われる。その値は沢野が蛙の小腸について得た値と大体同程度で、30g に対して 0.3mV 程



第2図 張力と変形電位の関係

- 1) 体重 3700g の非妊家兎子宮 (右側) 室温 24.0°C,
液温 22.5°C
2) 体重 2800g の非妊家兎子宮 (右側) 室温 23.0°C,
液温 22.0°C

度のものであつた。張力と変形電位の大きさの関係は第2図に示す如く張力の小なるときは速に上昇するが、張力が大となるに従つて上昇は次第にゆるやかになる。



第3図 圧力と変形電位との関係

- 1) 体重 3,500g の非妊家兎子宮 (右側) 室温 23.0°C 液温 22.5°C, 2) 同家兎の腔, 室温 23.0°C, 液温 22.5°C
 3) 体重 2,800g の非妊家兎子宮 (左側) 室温 24.0°C 液温 23.0°C, 4) 同家兎の腔, 室温 24.0°C, 液温 23.0°C

2) 剔出した子宮の一端を閉じて、開口端を硝子管に連結して内部から水压を加えて拡張すれば、内面 (+) 外面 (-) になる如き変形電位が現われ、水压の大きさと発生する変形電位との関係は、張力を加えて伸展した際の張力と変形電位の関係と大体同様で、圧力が小なるときは電位の大きさは圧力の増加と共に速に増加するが、後次第に水压の増加に対し発生する電位の割合は小となることが認められた。その際変形電位の大きさは大体 50cm の水压に対して 0.3mV

であつた。

3) 尙、剔出した家兎の腔を水压を加えて拡張させたときの変形電位の現われ方も第3図に示す如く、大体、子宮の変形電位の場合と同様であつたが、その値は圧力 50cmH₂O に対して大凡 0.2mV 程度であつた。

IV. 考 按

子宮を伸展又は拡張すれば、それに伴つて変形電位を生じ、それが運動神経或は子宮からの求心性神経に対し刺激作用を及ぼし、又は子宮筋自身の被刺激性を高め、此処に分娩が発来する可能性はあり得る。かゝる意味に於て、子宮筋に於ける変形電位の出現は、他の器管に於ける変形電位とは異なる特別な意義を有するものと考えられる。此等の事柄については未だ全く想像の域を脱しないが上述の変形電位を出発点として此の方面に対する研究が進められなければならないと考えられる。

終に臨み御指導を賜つた 恩師松本教授に感謝する。

文 献

- 1) 沢野正晴 (1950) 平滑筋及心筋の変形電位に就いて 生体の科学 2, 第3号

Summary

It was lately reported by Matsumoto, Eto and Sawano that by stretching the striated or unstriated muscle the stretched part becomes electronegative. From this it can easily be supposed that the uterus, the muscle of which is also unstriated, will reaction the same way, and further that the gravid uterus may be stimulated to parturition by the effect of deformation potential, if it is produced by expansion in the end of pregnancy. This is why the authors especially inquired into the deformation potential of the uterus.

In the experiment the uterus removed from a rabbit was employed. In the first the uterus was fixed through the separating wall of so-called Sugi's isolating vessel. Then it is stretched with a weight connected to one end of it by a thread. The electrical potential which appeared there was led to a galvanometer from unpolarizable electrodes placed in both sides of the separating wall.

In the second experiment the uterus was closed at one end by binding with thread and the other connected to a glass tube. Then it was expanded from the inner side by pressure 1-50cm H₂O. The potential difference which appeared on both sides of the uterus-canal wall was measured at various pressures.

The deformation potential by stretching was 0.3 mV at the tension of 30 g. It increased with tension, at first rapidly and then somewhat slowly.

By expansion the deformation potential increases with increase of pressure, at first rapidly and then slowly. The average value of the deformation potential of 10 examples was 0.3 mV at the pressure of 50 cm H₂O.

(Physiological Inst. of Medical Faculty, Gumma Univ.)

塩縮外液に筋より塩縮抑制物質の出る機制に関する研究 612. 741. 3

Does the Substance which Inhibits the Spontaneous Contraction of Skeletal Muscle in Saline Solution,
Come out due to the Contraction Itself?

川 口 國 臣 (Kawaguchi-Kuniomi) *

I. 緒 論

冷血動物の骨骼筋を等滲透圧の食塩水に入れると不規則な収縮を起し長時間続くという現象は Herimg, Ringer⁸⁾ Biedermann²⁾ 等により1800年代に発見され、其の後 Mines⁴⁾ Adrian¹⁾ 等により研究され、最近に至つて西山⁶⁾ 菊地³⁾ は此の収縮は長時間続き癒て止るが、新しい等滲透圧食塩水に入れ換えると再び収縮を起すことを見出した。言い換えればこの際筋は疲労又は死滅したのではないと言える。この現象を仮に塩縮 Salzkontraktion, Salt Contraction と名付ける。菊地は塩縮の終つた等滲透圧食塩水に別に新しい骨骼筋を入れると筋収縮は起らないか、起つても強く抑制されるということ、即ち外液中に塩縮抑制物質の出ることを発見した。

従來の研究者によつて塩縮を止める最も有効な物質は Ca であることが指摘されておつたので、塩縮が終るまでに筋の中から徐々に Ca イオンが出て来て、ある一定の濃度になることによつて止るのではないかと考えて、牟田⁵⁾ は効力ある外液の Ca 量を測つた処が、塩縮を止める濃さは 0.04~0.01% であるのに実際に現われる Ca 量は 0.004~0.003% しか出ていない。故に筋より出る物質は特別塩縮抑制物質であると想定出来る。然らばその様な物質が外液に出るのは筋を食塩水中に入れる事によつて何等かの原因により連続的に収縮、即ち塩縮を起すためにその結果として収縮分解産物が出るか、又は吾等の知らざる機制によつて出るか、これを言い換えれば収縮が原因で抑制物質の出るのが

結果であるという考えが当然一方に浮んで来る。これに反して若しそうでなければその様な物質が何かの機制によつて先づ筋より外液に出て、その結果として収縮が起るという考えも一方に存在しなければならぬ。第1が否定されるならば当然第2の考え方が有力となるべきで塩縮の研究にあつては最も重大な問題であると言わなければならない。

著者はこの点に着目し、若し仮に筋収縮の結果として塩縮抑制物質が出て来るとすれば、等滲透圧食塩水中の筋に対して人工的に筋収縮を起させても塩縮抑制物質が外液へ出て来てもよい筈であるから、諸種の電氣的刺激を加え筋収縮を起させた後、その外液及び刺激筋を用い、筋収縮あるときには塩縮外液に筋より塩縮抑制物質が出るかどうかを決定せんとして次の如き実験を行つた。

II. 実験方法

A. 間接刺激による法

1) 0.7% NaCl 溶液各 10cc 中へ牛蛙の左、右坐骨神経腓腹筋を投入し、右側の神経筋に対し感応電流器を用い極大刺激強度を以つて30秒に1回宛30分間に互つて間接刺激を与え NaCl 液中で筋収縮を起させる。其の間左側神経筋は他方の NaCl 液中に放置する。勿論この両者は共にその間塩縮がある。刺激実験が終つたら両神経筋共 NaCl 液中より取り出す。便宜上刺激筋の入つていた液を間接刺激外液、他方を無刺激外液と名付けた。この両外液に新しく剔出した牛蛙の左、右縫工筋をそれぞれ投入し両者の潜伏時間 (L. Z) 筋収縮持続時間 (D. Z) を計

* 日本大学歯学部生理学教室

測した。電気刺戟装置は総て2V 蓄電池、ポーター型感應電流器を用いた(以下の実験も同じ)。実験動物も特に附記しない限り牛蛙を用いた。

2) 上述の1)と同方法であるが刺戟回数を頻回とし2~5秒に1回宛30分間とした。

3) 本実験に於ては刺戟方法として前述の如き単一刺戟を用いず神経を介して12~40分に互る強縮刺戟を筋が殆んど動かなくなる迄与え、しかる後その外液に剔出縫工筋を投入し塩縮実験を試みた。

4) 間接単一刺戟の終つた坐骨神経腓腹筋を捨てず、新に用意した0.7% NaCl 100cc 中へ投入し L. Z, D. Z を計測した。勿論対側無刺戟筋も捨てず、同方法により L. Z, D. Z を計測した。

5) 間接強縮刺戟の終つた坐骨神経腓腹筋を新に用意した0.7% NaCl 溶液 10cc 中へ投入し L. Z, D. Z を計測した。4)と同様対側無刺戟筋の実験も行った。

B. 直接刺戟による法

1) 0.7% NaCl 溶液各10cc中へ左、右縫工筋を投入し右側筋の脛骨側を液面より全筋長の約1/4吊し上げ、其の内側に感應電流器を用いて10~20分に互つて強縮刺戟を与え NaCl 液中で筋収縮を起させる。其の間左側筋は一方の NaCl 液中に放置する。刺戟実験が終つたら両筋共 NaCl 液より取り出す。しかる後両外液へ新に剔出した左、右縫工筋をそれぞれ投入し、両者の L. Z, D. Z を計測した。

2) 上述の取り出した左、右縫工筋を新に用意した0.7% NaCl 溶液各 10cc 中へそれぞれ投入して L. Z, D. Z を計測した。

Ⅲ. 実験成績

A. 先づ間接刺戟による成績は

1) 0.7% NaCl 溶液10cc中へ右側坐骨神経腓腹筋を投入すると暫くして塩縮が起る。この塩縮には関係なく神経を介して極大刺戟強度を以つて、30秒に1回宛30分間、即ち60回の間接刺戟を規則的に与えて筋収縮を起させた。勿論刺戟強度を一定にするために毎回、捻軸距離、

角度を調節して出来得る限り正確を期した。他方 0.7% NaCl 溶液 10ccに投入した対側の神経筋は電気刺戟の終るまで通常の塩縮が起つていた訳である。この両外液に剔出縫工筋を投入した際の L. Z, D. Z を第1表に示す。

第1表 0.7% NaCl 溶液の間接並びに無刺戟外液に於ける縫工筋の塩縮時間
(50秒に1回、30分間に互る極大刺戟)

例	間接刺戟外液		無刺戟外液	
	L. Z	D. Z	L. Z	D. Z
1	55"	10°02'	1'00"	10°25'
2	2'50"	9°03'	3'25"	9°35'
3	2'55"	8°45'	2'25"	8°48'
4	2'25"	9°15'	2'20"	9°35'
5	2'43"	9°55'	1'15"	9°17'
6	2'50"	8°45'	2'05"	7°55'
7	2'10"	8°43'	3'05"	8°25'
8	2'23"	7°35'	2'55"	8°05'
9	2'33"	8°55'	2'40"	9°18'
10	3'03"	8°50'	2'40"	8°25'
11	1'50"	9°18'	2'30"	9°05'
12	1'30"	6°15'	1'45"	5°20'
平均	2'26"	8°52'	2'17"	8°47'

間接刺戟には坐骨神経腓腹筋を使用
液量 10cc. 室温20~26°C

全12例に於ける両外液に入れた縫工筋の塩縮時間を見ると全例共顯著な差は認められない。平均値に於ても間接刺戟外液 8°52' 無刺戟外液 8°47' という成績になる。各例の両外液に於ける縫工筋の塩縮の活潑さも肉眼的観察に於ては略々一致している。

L. Z も成績に挙げてあるが、これは將來の研究に待つ点が多いので單なる参考の程度に留める(以下同じ)。

第2表 0.7% NaCl 溶液の間接並びに無刺戟外液に於ける縫工筋の塩縮時間
(2~5秒に1回、30分間に互る極大刺戟)

例	間接刺戟外液		無刺戟外液	
	L. Z	D. Z	L. Z	D. Z
1	3'00"	12°07'	5'25"	12°15'
2	3'14"	11°47'	8'25"	11°30'
3	1'00"	9°53'	1'55"	10°06'
4	3'45"	9°34'	2'16"	10°22'
5	2'58"	7°42'	2'50"	7°17'
6	3'15"	10°05'	3'30"	10°13'
平均	2'52"	10°12'	4'03"	10°17'

間接刺戟には坐骨神経腓腹筋を使用

刺戟方法 1. 2. 3例に於ては5秒に1回。4. 5. 6例に於ては2秒に1回宛の30分間に互る極大刺戟。液量 10cc. 室温 19~22°C

2) 上記の30秒に1回宛30分間に互つての刺戟外液では対照と塩縮時間が変らぬため、全6

例中 1, 2, 3 例に於ては 5 秒に 1 回宛 30 分間, 4, 5, 6 例に於ては 2 秒に 1 回宛 30 分間に互る極大間接刺戟を与えた後の外液と無刺戟外液とを用いた縫工筋の塩縮実験を第 2 表に示す。

表に示す如く両外液共全例に於て略々一致した塩縮時間が見られる。従つて平均時間に於ても近似値を示す。又 1) と同様両外液中の縫工筋の塩縮の活潑さも大差はない。

3) 単一刺戟を排し 0.7% NaCl 溶液 10cc 中の坐骨神経腓腹筋に対し筋が疲労する迄間接の強縮刺戟を 12~40 分加え (神経の刺戟箇所を求心端より遠心端に向つて刺戟に応じなくなる毎に数回に互つて換える) た後の外液と、刺戟実験中 NaCl 液へ放置した他側無刺戟外液との塩縮時間を示したのが第 3 表である。

第 3 表 0.7% NaCl 溶液の間接並びに無刺戟外液に於ける縫工筋の塩縮時間 (12~40 分に互る強縮刺戟)

例	間接刺戟外液		無刺戟外液	
	L. Z	D. Z	L. Z	D. Z
1	3'45"	16'05'	2'30"	14'50'
2	4'25"	18'24'	2'30"	17'15'
3	5'35"	16'50"	3'25"	17'03'
4	1'15"	16'12'	3'55"	15'22'
5	2'13"	16'10'	1'05"	15'34'
6	2'30"	15'18'	2'20"	17'13'
7	4'15"	21'19'	6'07"	20'04'
8	3'05"	16'50"	2'50"	20'09'
9	4'05"	26'50"	1'00"	21'55'
10	3'40"	26'35'	55"	26'15'
11	20"	20'35'	35"	20'37'
12	7"	19'20'	4"	21'09'
平均	2'56"	19'14'	2'16"	18'52'

間接刺戟には坐骨神経腓腹筋を使用

9, 10 例は麤を使用。液量 10cc。室温 11~20°C

即ち筋が疲労する迄連続的に仕事をさせた訳であるが表に示す如く両外液に於ける縫工筋の塩縮時間の平均値は刺戟外液 19'14' 無刺戟外液 18'52' で略々同一である。又両外液中での縫工筋の塩縮の活潑さも大差はない。

4) 間接刺戟を加えた際の筋の疲労程度を知らんがために 2 秒に 1 回宛 30 分間に互つて極大刺戟を与えた右側坐骨神経腓腹筋を新に用意した 0.7% NaCl 溶液 10cc 中に投入して、無刺戟筋との塩縮時間を比較してみると第 4 表の如くなる。

5) 本実験に於ても筋の疲労程度を知るため

第 4 表 0.7% NaCl 溶液の間接並びに無刺戟筋の塩縮時間

(2 秒に 1 回, 30 分間に互る極大刺戟)

例	間接刺戟筋		無刺戟筋	
	L. Z	D. Z	L. Z	D. Z
1	5'	9'55'	0"	10'13'
2	10'46"	13'37'	3'30"	13'49'
3	15"	11'33'	5"	12'10'
平均	5'20"	11'41'	1'11"	12'04'

間接刺戟には坐骨神経腓腹筋を使用

液量 10cc。室温 17~23°C

第 5 表 0.7% NaCl 溶液の間接並びに無刺戟筋の塩縮時間

(12~40 分に互る強縮刺戟)

例	間接刺戟筋		無刺戟筋	
	L. Z	D. Z	L. Z	D. Z
1	—	—	0"	18'25'
2	—	—	5"	18'22'
3	—	—	2'55"	17'36'
4	40"	13'15'	15"	16'20'
5	—	—	30"	18'55'
6	—	—	15"	17'23'
7	—	—	2"	22'25'
8	—	—	2"	20'55'
9	—	—	5'20"	23'15'
10	—	—	15"	27'05'
11	—	—	2"	21'55'
12	—	—	15"	21'10'
平均	—	—	48"	20'10'

間接刺戟には坐骨神経腓腹筋を使用

9, 10 例は麤を使用。液量 10cc。室温 11~20°C

12~40 分に互つて 0.7% NaCl 溶液中で強縮間接刺戟を与えた坐骨神経腓腹筋を新鮮な 0.7% NaCl 溶液へ投入して塩縮時間を計測すると第 5 表の如くなる。

即ち間接刺戟に於ては新鮮 0.7% NaCl 溶液で塩縮をしたのは 12 例中 1 例のみで他は完全に疲労に陥入っている。しかも塩縮のあつた 1 例に於ても無刺戟筋よりその塩縮時間は遙かに短い。

上記の成績を総合すると間接刺戟によつて筋を収縮せしめた場合には殆んど完全に筋が収縮性を失うまで仕事をせしめた場合にもその外液には塩縮抑制物質を証明することは何等出来ない。況や相当の仕事を止めることによつて収縮性を略々恢復する様な例に於ては勿論塩縮抑制物質を証明することは出来ない。

B. そこで何等かの意味に於て間接刺戟であるからこの様な結果が生じたのではなからうかと考えて、次に筋に対する直接刺戟によつて同じ実験を試みた。

その結果は第6表に示す通りであつて、その外液には塩縮抑制物質は含まれていない。

第6表 0.7%NaCl 溶液の直接並びに無刺戟外液に於ける縫工筋の塩縮時間
(10~20分に亘る強縮刺戟)

例	直接刺戟外液		無刺戟外液	
	L. Z	D. Z	L. Z	D. Z
1	7'10"	22'09'	6'10"	24'09'
2	5'40"	25'25'	4'35"	25'45'
3	3'10"	20'45'	3'15"	22'12'
4	2'20"	24'27'	2'15"	23'43'
5	3'40"	23'31'	3'25"	22'22'
6	1'15"	22'54'	1'25"	23'09'
7	3'25"	22'54'	3'15"	18'52'
8	7'35"	21'52'	4'40"	23'02'
9	3'55"	19'09'	4'35"	21'30'
10	8'45"	24'28'	9'05"	23'31'
11	4'20"	21'34'	3'45"	24'21'
12	2'30"	22'12'	2'50"	23'05'
平均	4'31"	22'05'	4'06"	22'58'

直接刺戟には縫工筋を使用
液量 10cc. 室温 7~18°C

しかるにこの場合にも筋は充分に仕事を営んで居つた証拠には第7表に示す様に収縮筋の方は新しい 0.7% NaCl 溶液に入れると塩縮時間は極めて短い。

第7表 0.7%NaCl 溶液の直接並びに無刺戟筋の塩縮時間
(10~20分に亘る強縮刺戟)

例	直接刺戟筋		無刺戟筋	
	L. Z	D. Z	L. Z	D. Z
1	1"	2'35'	0"	20'00'
2	1"	4'50'	1"	21'30'
3	0"	1'30'	0"	23'15'
4	0"	4'25'	0"	22'50'
5	0"	3'18'	0"	23'30'
6	0"	17'05'	0"	18'55'
7	0"	2'15'	0"	23'06'
8	0"	2'45'	0"	19'19'
9	0"	3'05'	0"	21'20'
10	0"	1'37'	2"	21'00'
11	0"	2'30'	0"	23'05'
12	0"	1'15'	0"	26'20'
平均		3'58'		21'31'

直接刺戟には縫工筋を使用
液量 10cc. 室温 7~18°C

尙、参考のために電気刺戟によつて疲労に陥つた筋を Ringer 氏液に投入休息させることによつてどの程度に回復するか、0.7%NaCl 溶液各10cc中の縫工筋に対し、同時間の直接強縮刺戟を与えた後、その筋の休息時間を右側は5分間、左側は30分間として両筋を新に用意した 0.7% NaCl 溶液各10cc中へ投入し塩縮時間を比

較すると第8表の如くなる。

第8表
右側縫工筋 (刺戟後 Ringer 氏液へ5分間投入) 左側縫工筋 (刺戟後 Ringer 氏液へ30分間投入)

例	右側縫工筋 (刺戟後 Ringer 氏液へ5分間投入)		左側縫工筋 (刺戟後 Ringer 氏液へ30分間投入)	
	L. Z	D. Z	L. Z	D. Z
1	0"	5'09'	0"	6'09'
2	0"	4'05'	0"	6'12'
3	8"	3'51'	1'50"	5'12'
4	0"	2'35'	0"	2'30'
5	0"	4'28'	0"	5'15'
6	10"	4'35'	45"	5'18'
平均		4'02'		5'10'

室温 18~22°C

即ち D. Z に於て右側の5分間休息筋は平均 4'02' 左側の30分間休息筋は平均 5'10' となり、30分間 Ringer 氏液中に休息させただけでも相当の疲労回復が見られる。

IV. 綜 括 的 考 察

以上の成績を綜括すると 0.7% NaCl 溶液中で筋に対し電氣的刺戟を加えたその外液に新しい筋を入れて、無刺戟外液中の筋の塩縮時間とを比較計測してみると、その刺戟が間接であろうと又直接であろうと、両者の塩縮時間には殆んど差がない。勿論單一刺戟でも、断続刺戟でも同じことが言える。両外液に於ける塩縮時間が等しい許りでなく、途中の塩縮の活潑さも肉眼的觀察に於ては略々相等しい。

これ等の結果から刺戟外液には塩縮抑制物質が出ていないことが知れる。又 0.7% NaCl 溶液中にて筋が容易に疲労に陥入るのは間接刺戟、直接刺戟何れの場合でも通則に従い強縮刺戟に於て顯著である。

扱て以上の結論は極めて重大である。何故ならば緒論に於て既に論じた様に塩縮によつて抑制物質が外液に出るということは明らかに収縮の結果ではないと考えねばならぬからである。即ち塩縮という現象は等滲透圧食塩水中で何等かの機制によつて先づ収縮が生じ、その収縮の結果として抑制物質が出て来るのではないことを意味するからである。この重大な結論に対しては幾多の吟味を必要とするであろう。

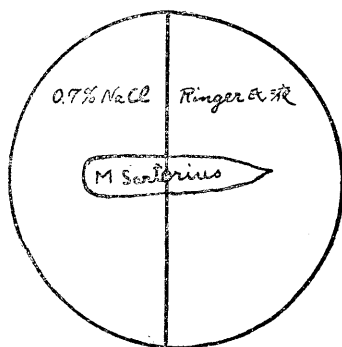
第1の吟味は次の問題である。本実験の電気刺戟によつて外液に塩縮抑制物質が出て来ない

のは電気刺激による筋の仕事量は大きであつても筋収縮の持続時間が短いからではないか。本来塩縮抑制物質は長い時間その液に浸漬して置くことによつて出るのではないかという疑問である。

然るに野崎⁷⁾の実験では一方の筋を低温の 0.7% NaCl 溶液として塩縮の起らぬ状態におき、他方の室温で塩縮時間を測定し、同じ時間放置した低温外液に抑制物質が出て来るか調べた処、殆んど出現しないという結果を得ている。故に筋を如何に長くその液に浸漬して置いてもそれだけで抑制物質が出るのではなく、塩縮がなければ抑制物質は出て来ないことは確かである。

第2の吟味は塩縮と言うものと、電気的刺激を加えた時に起る筋収縮とはその収縮の性質が異なるのではないか、即ち普通の収縮では抑制物質は出ないが塩縮は特殊の収縮であるために出るのでないかと言う疑問である。

然るにこれは次の実験、所謂 Two portions method により両者の筋収縮はその性質に於て何等異ならないことが証明される。即ちガラス容器をパラフィンにて2室に分け、その隔壁の中央部を薄いゴム膜とし、そのゴム膜に横切開を加えて縫工筋を図の如く挿入する。次に一方



第1図 (Two portion method)

の室へ Ringer 氏液を注入し隣室へ流出しないことを認める。この Ringer 氏液の注入だけでは筋収縮は何等起らない。5分後隣室へ 0.7% NaCl 溶液を注入すると暫くして塩縮が起つて来る。この収縮は両室に起つて来る。これは

NaCl 液側が塩縮を起し隣室 Ringer 氏液側に波及すると解釈してよい。然も第9表の成績に示した通り両室共 L. Z が同時であり、D. Z も略々相等しく、更に筋収縮のあるときには必ず両室に同時に起ることから、この塩縮という収縮は電気的刺激によつて起る筋収縮とは何等異なる処がない。

第9表の成績は縫工筋を 1/2 筋長づゝ 0.7% NaCl 溶液、Ringer 氏液へ浸漬させた場合である。第10表の成績は 1/4 筋長を 0.7% NaCl 溶液へ、3/4 筋長を Ringer 氏液へ浸漬し、第11表は 1/8 筋長を 0.7% NaCl 溶液へ、7/8 筋長を Ringer 氏液へ浸漬させた場合である。第9表の成績は勿論であるが第10表、第11表の成績中に於ても 0.7% NaCl 溶液側に起つた塩縮は隣室の Ringer 氏液側に波及し、所謂筋収縮とその性質が同一であると言える。

第9表

例	骨盤側 (1/2) 0.7% NaCl 20cc		脛骨側 (1/2) Ringer 氏液 20cc	
	L. Z	D. Z	L. Z	D. Z
1	5"	6'30"	5"	6'54"
2	8"	5'37"	8"	5'52"
3	12"	6'33"	12"	7'07"
4	25"	8'12"	25"	8'26"
5	55"	8'04"	55"	8'04"
6	12"	7'08"	12"	7'27"
平均	19"	7'02"	19"	7'18"
室温 26~28°C				

第10表

例	骨盤側 (1/4) 0.7% NaCl 20cc		脛骨側 (3/4) Ringer 氏液 20cc	
	L. Z	D. Z	L. Z	D. Z
1	25"	5'10"	32"	5'40"
2	55"	4'20"	55"	6'35"
3	2'15"	6'39"	4'03"	6'11"
平均	1'11"	5'23"	1'50"	5'40"
室温 24~30°C				

第11表

例	骨盤側 (1/8) 0.7% NaCl 20cc		脛骨側 (7/8) Ringer 氏液 20cc	
	L. Z	D. Z	L. Z	D. Z
1	1'25"	7'37"	1'25"	7'50"
2	1'48"	7'28"	1'48"	6'58"
3	2'13"	6'05"	2'13"	6'43"
平均	1'43"	7'03"	1'48"	7'10"
室温 28~29°C				

勿論塩縮の場合には間接刺激又は直接刺激の如く全筋繊維が同時に収縮を起すのではなく、

あるときは個々別々に起し、あるときは相当数の繊維が同時に起し筋収縮は大きくなる。かくの如く経過して行くことは著者が別に証明した処である⁹⁾。故に肉眼的には大いに異なる様に見えるが個々の筋繊維に就いては上記の実験の示すが如くに全く普通の筋収縮と異なる処はない。

扱て以上の吟味を経て著者の到達した結論は次の如くである。

V. 結 論

1) 等滲透圧食塩水中にある筋に対して電気的刺戟により収縮を起させた場合、その刺戟が直接的であろうと間接的であろうと、その外液には塩縮抑制物質は出て来ない。

2) 電気的刺戟を加えた筋は無刺戟筋より、新しい等滲透圧食塩水中での塩縮持続時間が遙かに短いことから相当度の疲労を来すことができる。

3) 所謂 Two portions method の実験より塩縮という収縮は普通の筋収縮とその性質が同じである。

4) 塩縮の際に塩縮抑制物質が外液に出るのは収縮の結果ではない。却つて抑制物質が筋の外へ出ると言うことが収縮の原因であると考えねばならぬ。

稿を終るに臨み終始 御懇篤な御指導御校閲を賜つた慶応義塾大学医学部兼本学教授 林毅博士並びに本学教授 栖原六郎博士に深く感謝する。

文 献

- 1) Adrian and Gelfan (1933) Rhythmic activity in skeletal muscle fibres. *J. of Physiol.* 78
- 2) Biedermann (1895) Einfluss chemischer Substanzen auf die Muskelkontraktion. (Elektrophysiologie)
- 3) 菊地録二 (1949) 塩縮外液の塩縮抑制物質について *日本生理学雑誌* 12, 359
- 4) Mines (1903) On the spontaneous movement of amphibian skeletal muscle in saline solution, with observation on the influence of potassium and calcium chlorides on muscular excitability. *J. of Physiol.* 37
- 5) 牟田信大 (1951) 塩縮外液の塩縮抑制作用と Ca 量との関係に就いて (慶応医学掲載予定)
- 6) 西山信夫 (1948) 骨格筋の交感神経支配について *慶応医学* 25
- 7) 野崎 勇 (1950) 塩縮外液と低温による塩縮なき外液との塩縮時間の比較 (日本大学歯学部生理学教室15周年記念論文集掲載予定)
- 8) Ringer (1886) Further experiment regarding the influence of small quantities of lime potassium and other salt on muscular tissue. *J. of Physiol.* 7
Ringer (1887) Regarding the action of lime potassium and sodium salt on skeletal muscle. *J. of Physiol.* 8
Ringer (1887) Upon the similarity and dissimilarity of the behaviour of cardiac and skeletal muscle when brought into relation with solution containing sodium, calcium and potassium salt. *J. of Physiol.* 8
- 9) 川口国臣 (1951) 塩縮のキモグラムに就いて (日本大学歯学部 生理学教室15周年記念論文集掲載予定)

Summary

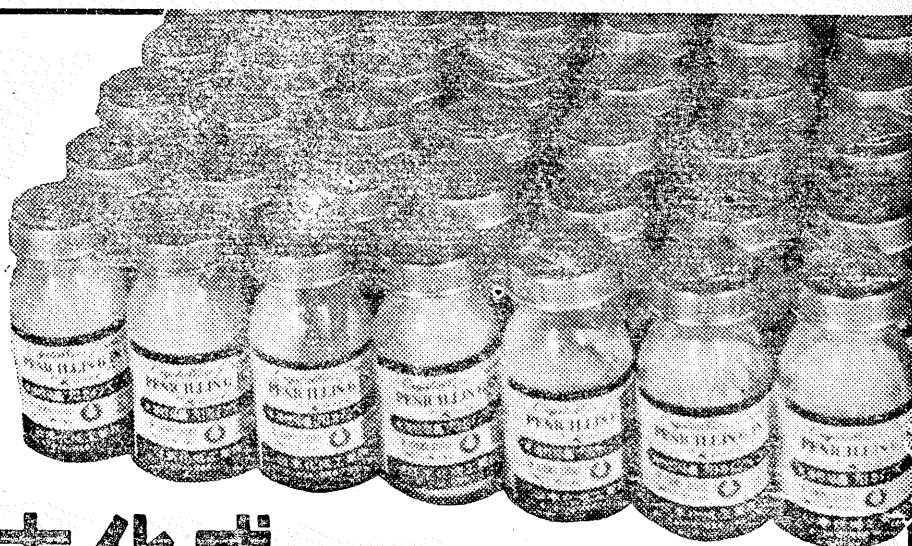
An excised muscle from a frog immersed in 0.7% saline solution (without Ca) would exhibit spontaneous contractions which have a long duration (6-20 hours).

When the spontaneous contractions of the muscle ceased after a certain duration, its fluid contained some "inhibiting substance" which diffused out from the muscle. Is the coming out of this substance the cause of spontaneous contractions or is it the result due to the contractions? The author took a pair of "the after fluid" in which the bilateral muscles of a frog ceased the spontaneous contractions of which one was stimulated from the nerve till a state of fatigue, and measured the duration time of newly excised bilateral sartorius muscle of another frog in each fluids.

The duration time of both muscle was quite the same.

The author suggested from the above results that the "inhibiting substance" diffused out not due to the muscle contraction, but on the contrary its diffusing out should be the cause of the spontaneous contractions in saline solutions.

(Department of Physiology, Nippon University School of Dental Medicine)



日本化成の *Penicillin*

★油性プロカインG 300.30万單位
 ★水性プロカインG 300.30万單位
 ★結晶G 20.10万單位
 ★無定形 20.10万單位

ペニシリン

— 日本薬局方 —



**パンクレアチン
含糖 ペプシン**

東京都中央区日本橋室町4の5

製造發賣元 ミクニ化學産業株式會社

昭和二十七年三月一日印刷
昭和二十七年四月一日發行

編集兼
發行人

東京大學醫學部生理學教室內
東京郡文京區本富士町
戸塚武彦

印刷所

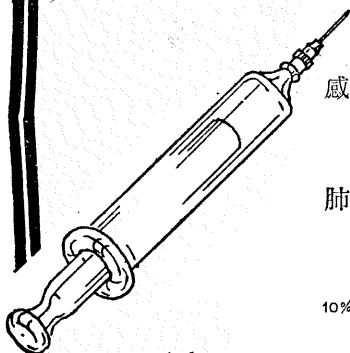
山形縣鶴岡市馬場町甲三
三浦武次郎
鶴岡印刷株式會社

發行所

東京大學醫學部生理學教室內
日本生理學會

振替東京八六四三〇
定価 百圓

Sulfa / "第一" の **ダイアジン** 注射液
/
テラシアジン 注射液



感冒とは……気道内に潜在或は常在するウイルス或は細菌により組織器官が侵されるもので Infection が伴うものとされていますので、テラジアジンの投與こそ最も適切でありましょう。

肺炎の場合……肺炎菌性・ブドウ球菌性のもはもとより気管支性・フリードレンデル菌性・百日咳性・麻疹性肺炎等に対しても、すぐれた効果を發揮します。
原因不明の發熱にメチロン（スルピリン）との混合注射をお奨めます。

10% 2cc X 10 170円 5cc X 10 380円 10cc X 5 360円

2cc X 50 750円 5cc X 50 1600円

末 25瓦 830円 100瓦 3,000円 500瓦 14,000円 錠 10錠 20錠 100錠 500錠



第一製藥

本社 東京都中央区日本橋江戸橋三 支店 大阪市道修町・福岡市下紙園町(文・進呈)

中外製藥の良心的医薬品

鎮痛・消炎・解熱に

特坐
骨に
神神
經經
痛痛
に痛

嫌・好氣性兩菌を併殺する

新合成
女性ホルモン

甲狀腺機能亢進症
並に狭心症に

肺炎・淋疾・その他
一般化膿性疾患に

榮養・疲勞
恢復・脚氣に

强力利尿劑

腦溢血其
他
毛細血管
強化劑

ザルソ[®]IIプロカノン[®]

アロピラ[®]ザルブ[®]ロ

ホモスルファミン

口
バ
ー
主・錠
ル

メチオール

ネオIIチセプタール
注・錠・末

ビタミンHプロカノン

テ
オ
ハ
ル
ン

ヒカルチン



製 造 元

中外製藥株式會社