

興 奮 伝 播 性 と 圧 効 果

第 二 編

筋肉収縮の伝播性と圧効果に就て（其の二）

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

先に著者¹⁾の報告した如く、電気刺激に反応し難く圧に対し反応し易くなる液に浸した筋肉は非伝播性の収縮を為す。では非伝播性の収縮を呈すると考えられる水、及び等張尿素溶液に浸した筋は圧に対し如何なる態度をとるのであろうか。

又特異性筋隆起を起し易く、持続性収縮を起し易い緊張筋は隔絶法でどんな収縮型を示すか。更に緊張筋を非伝播性となる液に浸した場合どんな態度をとるか。

一方隔絶法で非伝播型にせよ電気刺激で反応する筋肉の局所被刺激性は如何であろうか。以上の点について検討した。

〔II〕 実験装置、方法並びに材料

隔絶電極刺激に用いた装置並びに方法は既述のものを其の儘使用し、隔絶電極刺激に依る電気閾値の測定には、隔絶槽の中央小液槽の一側の隔絶板を抜き去り単槽法として利用した。而して筋は（+）極側にて一端を固定し、（-）極側のみ描記せしめる様にして最小刺激電圧より漸次電圧を高め、最初に攣縮を起した電圧を以て閾値を表し、次いで薬品液と置換して閾値の変化を検べた。

又圧閾値並びに電気刺激閾値の測定は別編記載の方法に依る。

実験材料としては蛙の縫工

筋を使用し、緊張筋の実験には蜚の烏喙腓筋を使用した。筋は何れも剔出後少くとも1時間以上 Ringer 液に放置して後実験を行つた。

本実験は29年4月より30年2月迄の間に行つた。但し夏季には本実験は行わなかつた。

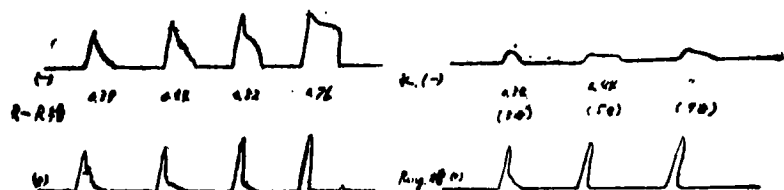
〔III〕 実験成績

A) 収縮の非伝播化と圧閾値

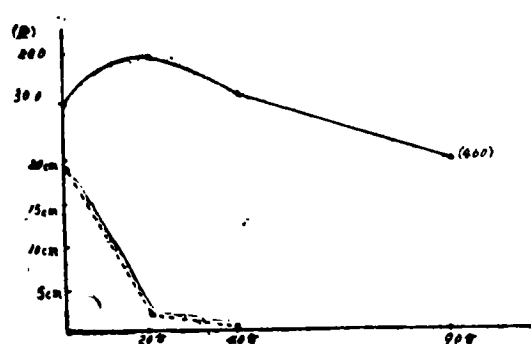
i) 蒸溜水浸漬

隔絶法にて蛙縫工筋の両槽 Ringer-Ringer 槽に於て刺激電圧を漸次増大して両槽の収縮形を描記し、次いで一槽を蒸溜水と置換し蒸溜水槽を（-）極、Ringer 槽を（+）極とし、（-）側より（+）側に伝播されて来る鋸歯状持続収縮に注目し実験を行うに、第1図の如く蒸溜水と置換後暫時自発的に律動性の収縮が現われ、後（-）極側で鋸歯状持続収縮の現われる刺激電圧にて、正常筋に見られる様な鋸歯状持続収縮は現われなくなり平滑持続収縮形となり、（+）側にては閉鎖攣縮のみを示し非伝播型となる。

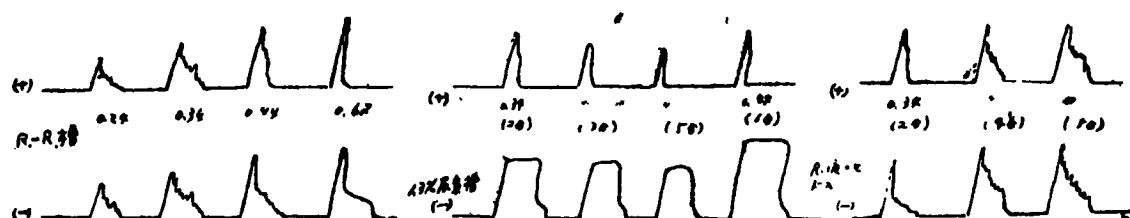
一方蒸溜水に浸した筋の圧並びに電気刺激に対する態度を見るに、第2図に示す如く圧に対しては閾値は先づ低下し約20分を最大に



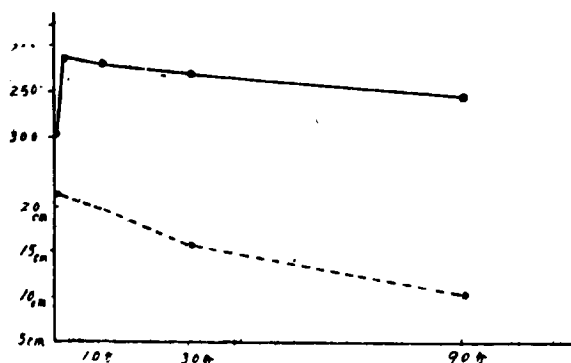
第1図 水 浸 縮



第2図 蒸溜水中の圧並に電気刺戟閾値
(実線 圧閾値, 波線 電気刺戟閾値)



第3図 1.3%尿素液と置換



第4図 尿素液中の圧並電気刺戟閾値
(実線 圧閾値, 波線 電気刺戟閾値)

B) 緊張筋の収縮伝播性と圧刺戟閾値

i) 烏喙膊筋の収縮伝播性

蟾の烏喙膊筋を隔絶槽に装置し、両槽 Ringer-Ringer として描記させた。此の際予め蟾の縫工筋を使用して隔絶電極刺戟を行い、蛙の縫工筋の場合と形状、性質の一致せるを確認した。

次いで烏喙膊筋を描記せしめるに第5図の如く、弱刺戟では(-)側に閉鎖攣縮に続く漸減的な鋸歯状持続収縮の存するものは縫工筋の場合に比し非常に弱い性質のものである。

以後徐々に上昇してゆく。反之電気刺戟に対しては閾値は始めから上昇し40分前後で二次コイルを0に近づけても全く反応しなくなる。

ii) 1.3%尿素液浸漬

等張尿素液即ち1.3%尿素液で置換した場合は第3図の如く、隔絶法で矢張り正常筋に見る鋸歯状持続収縮に代つて平滑持続収縮の出現となり非伝播型となる。

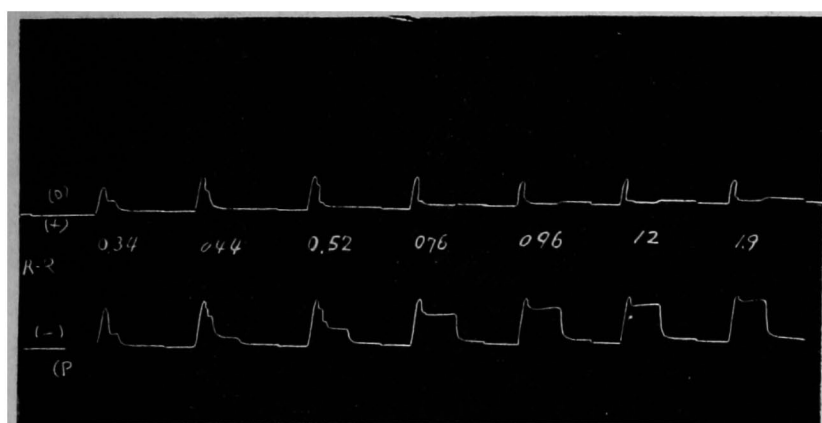
一方圧並びに電気刺戟に対する閾値の変化は第4図の如く、圧に対しては薬液作用直後より閾値の低下が著しく、反之電気刺戟には徐々に反応し難くなる。

此の鋸歯状持続収縮は(+)側にも僅かに伝播され同型を示す。更に中等度の刺戟電圧では(-)側は平滑持続収縮に移行し、(+)側は閉鎖攣縮のみとなる。更に刺戟電圧を強めると(-)側では平滑持続収縮の高まりを増すが、(+)側にては開放攣縮が現われて来る。此の開放攣縮は非緊張筋の場合に比し収縮残遺を明らかに残す。が然し短縮の伝播性の点で緊張筋は非緊張筋に比し大差がない。

ii) 圧刺戟閾値並びに電気刺戟閾値

緊張筋にては直接電気刺戟閾値を測定する事は収縮残遺を残す事の為判定が困難なので隔絶電極刺戟にて閾値を測定した。その成績は縫工筋が平均0.23Vであるに反し、緊張筋は0.27Vで緊張筋の方が少々閾値が高い。

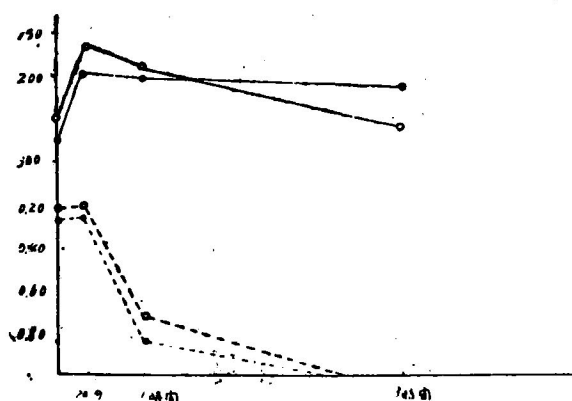
次に非伝播性となる液の一つとして15KCl-Ringer (以下15 K. R. 液) に浸した緊張筋の圧閾値と電気刺戟閾値を非緊張筋たる縫工筋の夫れと比較するに、第6図にみる如く両者の間にはさしたる差異は見当らなかつた。即ち両者とも薬液作用後20分及び1時間値に於て、圧刺戟には興奮性の増加を、電気刺戟には興奮性の低下を認める。



第5図 基緊張筋 (M. coraco-brachialis) の隔絶電極刺激

(0.22 V) 攣縮高を増し、5 分後には 0.18 V で充分反応し以後 15 分間位 Ringer 液中での閾値より低い閾値で反応する。其の際の攣縮型は何れも非伝播型たる閉鎖攣縮型を以て反応する。一方蔗糖、酒精-Ringer、尿素液の場合は何れも筋を該液に浸漬直後より閾値の低下を示し、反之、水の場合

は徐々に閾値の低下を来し、10 分後位より反対に閾値は上昇し始める。

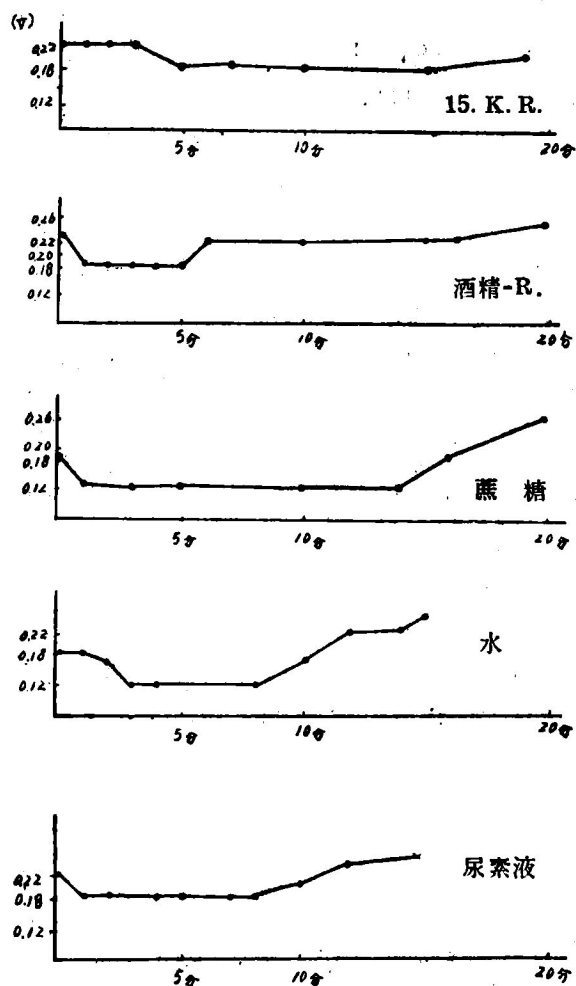


第6図 基緊張筋と非緊張筋の 15 K. R. 液に於ける圧並びに電気刺激閾値

実線——圧閾値
波線——電気刺激閾値
(○)……非緊張筋
(●)……緊張筋

C) 圧刺激閾値低下状態下に於ける 局所電気被刺激性

既報の通り 10~15 倍 K. R. 液、6% 酒精 Ringer 液、6% 蔗糖液、並びに前述の水、1.3% 尿素液に浸した筋は電流には反応し難いのに圧刺激には鋭敏に反応する。此の二刺激型に対する筋肉の相反する振舞の理由に就いて考按する上で、筋肉の圧迫短縮が非伝播性収縮である事に鑑み、非伝播性収縮の閾値をも測量せしめると思われる隔絶電極刺激法に依り、電氣的刺激閾値を測つた。すると蛙の縫工筋で測定した結果、収縮は非伝播性であるが何れも第7図に示す如く電気刺激閾値は低下している事を示す。例えば 15 K. R. 液では、最初の Ringer 液中での隔絶電極刺激閾値は 0.22 V であるが、15 K. R. 液に浸漬 3 分後から次第に筋は興奮性を増し同一電圧でも



第7図 各種溶液に於ける隔絶電極刺激閾値

〔IV〕 考 按

前編¹⁾ 報告の通り圧に反応し易くする諸処置に依つて骨骼筋は非伝播性の収縮をなす様になる事が判明した。では逆に筋肉が非伝播

性収縮を起す様になつた際、其の筋肉の圧閾値はどう変るか検査しようと考えた。然し痙縮を起す諸処置のうち、Riesser の分類する 1) 酸痙縮、2) 塩基痙縮、3) 生理的酸痙縮、4) 興奮痙縮等何れも中島²⁾によると、隔絶法検査で鋸歯状持続収縮の消失、平滑持続収縮の出現が証明されないと云う。其処で水痙縮について調べてみた所、実験成績 (第 1 図) の如く、其の痙縮が非伝播性であるとの成績を得た。又尿素の場合にも隔絶刺激により、其の筋収縮は非伝播性である事が判つた。そして此等の液に浸した場合の圧刺激並びに電気刺激は如何にとみるに、何れも圧に対し鋭敏になり電気刺激には不鋭敏になる事が判明した (第 2 図、第 4 図)。従つて以上の事から圧刺激に対し反応し易く電気刺激に対し不鋭敏になる筋は隔絶電極刺激にては鋸歯状持続収縮が消失し平滑持続収縮型に移行し非伝播性を取り、又此の逆に隔絶電極刺激にて非伝播性収縮を現わす溶液に浸した筋は圧刺激に反応し易く電気刺激に対し不鋭敏となる。

緊張筋、非緊張筋に関しては 1928 年 Sommerkamp³⁾が Acetylcholin に非常によく反応する筋と然らざる筋の存する事を発表して以来、Wachholder⁴⁾並びにその一門により精細に研究され、更には Bottazzi⁵⁾の云う赤筋と白筋、又 Stephan W. Kuffler⁶⁾等の云う small-nerve slow muscle system, large-nerve twitch fiber system に属す筋も細部に於ては Sommerkamp の云う緊張筋、非緊張筋の分類とは異なるも、緊張筋は種々の刺激に対しゆつくり持続する収縮を以て反応する事は諸家の肯定する所である。又緊張筋は特異性筋隆起を起し易いと云われている。即ち緊張筋は非伝播性の収縮を起し易いのである (Wachholder)。が然し蟄の緊張筋たる烏喙膊筋を以て隔絶電極刺激を行つてみるに、実験成績 B) 項に於けるが如く非緊張筋たる縫工筋の場合と大差がない。只 (一) 側での鋸歯状持続収縮が少く又収縮残遺を残し易い点が非緊張筋との違いと云えば云える。

一方 10~15 K. R. 液に浸した緊張筋は圧に

反応し易く、電気反応に難くなる事非緊張筋の場合と同じ。斯く蟄の緊張筋と非緊張筋の両者の差異が少ないのは恐らく古谷⁷⁾も述べている如く、緊張筋の中にも非緊張筋 (縫工筋) と同じ刺激閾値の線維が存しており、従つて緊張筋の隔絶電極刺激に於ては著明な差異を認めなかつたのは非緊張筋と同じ性質の此の線維の反応に由る為か、或いは緊張筋、非緊張筋の収縮型式の差は唯量的の問題であつて、その量的差異は筋の種類、季節等で種々な段階或は変動がある為か。著者の例では丁度その差が少なかつたのかも知れない。兎も角著者の用いた蟄の烏喙膊筋なる所謂緊張筋はその短縮伝播性に於ても、圧刺激にも非緊張筋に比べ特別の差を証明する事が出来なかつた。

それにしても筋肉が圧刺激に対し鋭敏になり電気刺激に対し不鋭敏になるとは如何なる事を意味するか。実験成績 C) 項で見た如く、そんな状態になる液に浸した筋は隔絶電極刺激により何れもその収縮が非伝播型となつていのであるが、局所電気刺激閾値は何れも低下している事を証明している。換言すれば筋線維に於ては圧迫に対して丈けでもなく電氣的にも局所々々の興奮性が増加しており、然も其の個々の筋線維の興奮は薬液により非伝播性となつていのである。従つて此の様な状態に置かれた筋肉は我々の加えた圧刺激の如く筋肉の周囲全体から平等に刺激されると、筋線維の各部の興奮性が増加している関係から鋭敏に反応する。一方電気刺激に対して考えると、此等の薬液に浸すと局所々々の被刺激性亢進で、譬え陰極興奮が弱電流で起つても、筋興奮が非伝播性となり、筋全体にその短縮興奮は伝わらず、従つて普通の観察法では筋全体として電気刺激に対し不鋭敏に見えるのだろうかとの考えが起る。

〔V〕 結 論

A) その中に漬けると隔絶電極刺激により (一) 側鋸歯状持続収縮が消失し、平滑持続収縮が現われる様な液 (例えば蒸溜水、

1.3%尿素液)に筋を浸すと圧に対し鋭敏になり電気刺激には不鋭敏になる。

B) 蟾緊張筋に於ては非緊張筋に比して、隔絶刺激による筋収縮の伝播性には大差がなく、只緊張筋に於ては(一)側の鋸歯状持続収縮が弱く且つ(+)側の開放収縮後に収縮残遺を残し易い。それ故か圧刺激並びに電気刺激に対しては蛙の非緊張筋の場合と同じく、両者とも高濃度K. R. 液の中では圧刺激に対し反応し易く、電気刺激には不鋭敏になる。

C) 隔絶電極刺激法により、其の液中で筋収縮が非伝播性となる事を認めしめる液、

即ち10~15K. R. 液, 6% Alkohol-Ringer 液, 6% 蔗糖液, 水, 1.3% 尿素液の各々に浸した筋は隔絶電極刺激により閾値が低下し電流作用に対しても興奮性の増加している事を示す。換言すれば刺激をうける部の興奮性は増加している。然し同時に興奮伝播性が減少している為、普通の電気刺激作用観察法では興奮性が見掛上低下の観がある。反之非伝播性収縮の興奮性を計量さす所の圧刺激に対しては亢進の相を示すと解される。

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

文 献

- 1) 長尾曉一：本誌。
- 2) 中島猛：日生理誌。15巻, 203, 1953.
- 3) Sommerkamp Arch. f. exp. Path. u. Pharmak. Bd. 128, 679, 1928.
- 4) Wachholder Pflüger's Arch. Bd. 225, 627, 1930. Pflüger's Arch. Bd. 226, 275, 1931. Pflüger's Arch. Bd. 226, 255, 1931. Pflüger's
- Arch. Bd. 229, 120, 1932. Pflüger's Arch. Bd. 229, 134, 1932.
- 5) Bottazzi Arch. f. Physiol. 377, 1901.
- 6) Stephan W. Kuffler · J. Physiol. vol. 121, 318, 1953. Arch. f. exp. Path. u. Pharm. Bd. 220, 116, 1953.
- 7) 古谷新：慶応医学。16巻, 1, 1936.

Department of Physiology, Okayama University Medical School.

(Director Prof. Dr. K. Hayasi)

Propagation of excitation and action of strong hydrostatic compression.

Propagation of excitation and effect of high hydrostatic pressure on muscles. (II)

By

G. Nagao

1) In some solutions in which muscles contract without propagation, they react more sensitively to hydrostatic pressure, less to electric stimulation.

2) The conductivity of excitation waves of "tonic" or "non-tonic" muscles of toad shows no difference practically.

3) By immersion of muscles into some solutions in which their contraction does not propagate, the excitability of muscle does increase at the part stimulated.