

60.

612.741.63

筋ノ縦横電流通過ノ際ニ於ケル
刺戟閾ノ電流強度ニ就テ

岡山醫科大學生理學教室 (主任生沼教授)

醫學士 須藤吾之助

[昭和7年9月19日受稿]

*Aus dem physiologischen Institut der Okayama Med. Fakultät
(Vorstand: Prof. Dr. S. Oinuma).*

Über die Stromstärke des Schwellenreizes bei der Längs- und
Querdurchströmung der Muskeln.

Von

G. Sudô.

Eingegangen am 19. September 1932.

Verfasser stellte eine experimentelle Untersuchung über die verschiedene Reizbarkeit bei der Längs- oder Querdurchströmung des galvanischen Stromes ein, und kam zum folgenden Schluss.

1) Die Reizbarkeit des galvanischen Stromes ist grösser in Längsdurchströmung als Querdurchströmung.

2) Der elektrische Widerstand des Muskels ist grösser in der Querrichtung als in der Längsrichtung ungefähr in der umgekehrten Verhältniss zur Reizbarkeit des Muskels.

3) Die Verschiedenheit der Reizbarkeit des galvanischen Stromes bei Längsdurchströmung und Querdurchströmung kann man also durch die Unterschied des Widerstand des Muskels in verschiedenen Richtung erklärbar. (Autoreferat.)

内 容 目 次

| | |
|-----------------|----------------------|
| 第1章 緒論及ビ文獻 | A. 電流計ヲ用ヒタル測定 |
| 第2章 實 驗 | B. Kohlrausch 法ニヨル測定 |
| 第1項 直流ヲ用ヒタル實驗 | 第3章 考察及ビ結論 |
| 第2項 感應電流ヲ用ヒタル實驗 | 文 獻 |
| 第3項 筋肉ノ電氣抵抗ノ測定 | |

第 1 章 緒 論 及 ビ 文 獻

筋肉或ハ神經ノ纖維ノ方向ニ直角ニ電流ヲ通スヨリモ、纖維ノ方向ニ並行ニ通ス方ガヨリ僅カノ電流デ興奮ヲ起スト云フコトハ早クハ Galvani¹⁾ノ時代ヨリ知ラレテキタ。後 Du Bois Reymond²⁾ハ電流ノ方向ト神經ノ方向トノ間ニ於ケル最小興奮ハ其ノ角度ノ Cos. ニ比例スルト云フ説ヲ唱フルニ至ツタ。次イデ稍々古キ所デハ Fick³⁾, Albrecht u. Meyer⁴⁾等ガ各々正シイト認メタ方法デ試ミ之ヲ承認シテキル。

之ニ反シテ Tschirjew⁵⁾ハ神經ノ電流ニ對スル抵抗ハ神經纖維ノ方向ニ通ズルヨリモ、之ト直角ニ横ニ通ズル時ハ5倍程大デアル。而シテ、横ノ場合ノ興奮性ハ縦ノ場合ノ $\frac{1}{2}$ デアルカラ、結局電流方向ト神經トノ間ノ問題ハ電氣抵抗ノ相違ニ過ギナイトシテキル。尙ホ同氏ハ筋肉デハ横ニ電流ヲ通ジタ方ガヨリ僅ノ電流デ興奮ヲ起シタト言テタル。併シ Giuffré⁶⁾ハ筋肉デモ横ノ場合ガ縦ヨリモ興奮性ガ少ク、實驗ハ困難デハアルガ恐ラク直角流通デハ神經ノ場合ノ様ニ興奮シナイノデハアルマイカト言テキル。最近 Rushton⁷⁾モ亦神經ニ就キ Cosinus 則ヲ承認セネバナラヌ成績ヲ擧ゲテキル。

上述ノ様ニ神經纖維ニ就テハ一般ニ Cosinus 則ガ認メラレテキルモ筋肉ニ就テハ未ダ充分明カデナイカラ私ハ專ラ筋肉ニ就テ實驗ヲ行ツタ。

第 2 章 實 驗 — 興 奮 性 ノ 測 定

興奮性ハ筋肉ニ攣縮ヲ起スニ足ル最小刺戟値ノ逆數デ表ハス。

第 1 項 直 流 ヲ 用 ヒ タ ル 實 驗

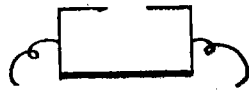
直流ヲ筋纖維ノ方向ニ通ゼル時ト、直角ニ通ゼル時其ノ各々ノ刺戟閾値ノ如何ヲ知ル爲ニ次ノ様ニ實驗ヲシタ。

材料——「クラレ」ヲ以テ「クラレジレン」シタ蛙ノ縫匠筋ヲ用ヒタ。

裝置——電流強度ノ加減ハ4「ボルト」ノ蓄電池カ

ラ副回路法ニ依ツテシ、刺戟電極トシテ圖ノ如キ液槽電極ヲ用ヒタ。即チ縦3mm横3mm深サ1.5mmノ木製ノ箱ノ兩端ニ内面ニ鹽化銀ヲ付ケタ銀板ヲ付ケ、上ノ蓋ハ薄イ「セルロイド」ヨリナリ、其ノ中央ニ直徑0.5mmノ小穴ヲ開ケル。

(第 1 圖)



(側面圖)



(上ヨリ)

方法——液槽内ニ「Ringer 氏液」ヲ充シ漏レナイ様ニシ、次イデ液槽ノ蓋上ノ小穴ノ上ニ筋標本ヲ電流ノ方向ニ並行或ハ直角ニ置キテ檢シタ。尙ホ一刺戟ハ約5分間以上ノ間隔ヲ置イテ行ツタ。刺戟閾値トシテハ極小陰極閉鎖縮ヲ擴大鏡ヲ通ジテ觀察シタ。

直 流 電 氣 實 驗 成 績

| 實驗 番 號 | 實驗順序 刺戟ノ強サ 方向 | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 溫 度 |
|--------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| | | 強 度 | 比 | 強 度 | 比 | 強 度 | 比 | 強 度 | 比 | |
| I | 縱 | 23 | 1 | 24 | 1 | 25 | 1 | 27 | 1 | 13.4°C |
| | 橫 | 33 | 1.4 | 34.6 | 1.4 | 36 | 1.4 | 37.5 | 1.4 | |
| II | 縱 | 21.8 | 1 | 23 | 1 | 24 | 1 | 24 | 1 | 8.5°C |
| | 橫 | 32.5 | 1.5 | 35.5 | 1.54 | 37 | 1.54 | 40 | 1.7 | |
| III | 縱 | 22 | 1 | 26 | 1 | 26.8 | 1 | 27 | 1 | 13.4°C |
| | 橫 | 31.5 | 1.4 | 33 | 1.3 | 33.5 | 1.5 | 41 | 1.5 | |
| IV | 縱 | 23.7 | 1 | 24 | 1 | 24.6 | 1 | 27 | 1 | 13.4°C |
| | 橫 | 29.8 | 1.25 | 30 | 1.25 | 30.8 | 1.21 | 35 | 1.3 | |
| V | 縱 | 19 | 1 | 24 | 1 | 25 | 1 | 25.3 | 1 | 15°C |
| | 橫 | 35 | 1.7 | 36 | 1.5 | 37 | 1.5 | 37 | 1.46 | |

總括——纖維ノ方向ニ並行ニ電流ヲ通ズル方ガ、直角ニ通ズルヨリモ僅カノ電流デ變縮ヲ起ス。其ノ比ハ

縱：橫 = 1:1.3—1.7
平均 1:1.44
ノ割合デアル。

第 2 項 感應電流ヲ用ヒタル實驗

材料——第1項ニ同ジ。

裝置——第1項ニ同ジ液槽電極ヲ「インツクトリ ユーム」ノ第二次回路ニ挿入シテ檢シタ。

方法——單一開放電流ヲ通ジ極小變縮ヲ擴大鏡デ見タ。

成績——

感 應 電 流 實 驗 成 績

| 實驗番號 | 實驗順序 方 向 | 1 | | 2 | | 3 | | 溫度(°C) |
|------|-------------|------|------|------|------|------|------|--------|
| | | 縱 | 橫 | 縱 | 橫 | 縱 | 橫 | |
| I | 電流強度 | 11 | 12.5 | 12 | 12.8 | 12.8 | 19.1 | 15° |
| | 比 | 1 | 1.14 | 1 | 1.06 | 1 | 1.5 | |
| II | 電流強度 | 11.5 | 14.5 | 11.3 | 15 | 11 | 16.5 | 13.4° |
| | 比 | 1 | 1.26 | 1 | 1.32 | 1 | 1.5 | |
| III | 電流強度 | 10 | 14.5 | 10.8 | 14.5 | 11 | 15 | 11° |
| | 比 | 1 | 1.45 | 1 | 1.3 | 1 | 1.4 | |
| IV | 電流強度 | 17 | 23.5 | 19 | 25.5 | 19 | 25 | 11° |
| | 比 | 1 | 1.39 | 1 | 1.3 | 1 | 1.3 | |
| V | 電流強度 | 16.5 | 18 | 16.7 | 20 | 17.5 | 22.7 | 15° |
| | 比 | 1 | 1.1 | 1 | 1.19 | 1 | 1.3 | |

總括——感應電流ヲ用ヒタル實驗ニ於テハ次ノ如クデアル。 | 縱：橫 = 1:1.06—1.5
平均 1:1.3

第 3 項 筋肉ノ電氣抵抗ノ測定

A. 電流計ヲ用ヒタリ測定

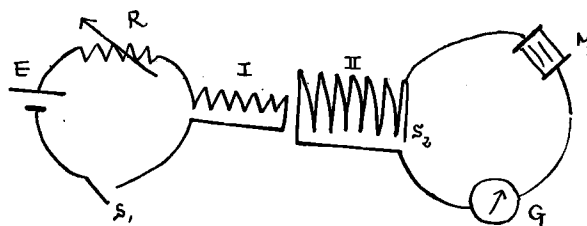
感應電流ヲ通ジタ時ノ電氣抵抗ヲ知ル爲ニ次ノ實驗ヲ施行シタ。

材料——10000倍「monoiodoacetic acid」溶液ニ1時間次イデ水素瓦斯。或ハ「酸素ヲ含マザル Ringer

氏液」ニ半時間浸シテ殺シタル蛙ノ縫匠筋。

裝置——下圖ノ如ク、感應電流實驗ノ第二次回路ヘ2枚ノ銀板ノ間ニ筋ヲ置キタルモノト「D'Arsonval 電流計」トヲ直列ニ連結シテ行フ。

(第 2 圖)



方法——或ル一定度ノ強サノ單一開放電流ヲ通シ
筋第二次回路ニ送リ、其ノ時ノ電流計ノ「フレ」ヲ讀

ム。
成績——

電流計ニヨル實驗成績

| 方 向 | I | | II | | III | | IV | | V | | 平 均 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| | 「フレ」 | 比 | 「フレ」 | 比 | 「フレ」 | 比 | 「フレ」 | 比 | 「フレ」 | 比 | |
| 縦 | 7.5 | 2.17 | 7 | 2.33 | 10 | 2.22 | 14 | 2.33 | 6 | 2.04 | 2.2 |
| 横 | 3.5 | 1 | 3 | 1 | 4.5 | 1 | 6 | 1 | 2.5 | 1 | 1 |

總括——組織内通過電流強度ハ電流計ノ「フレ」ノ
度ニ比例スル故ニ、
縦：横 = 1：2.04—2.33

平均 1：2.2
即チ、之ヨリ逆ニ抵抗ヲ知り得ル。

B. Kohlrausch 法ニヨル測定

材料——第3項ニ同ジ。
装置——型ノ如ク行フ。電源2「ボルト」、蚊音「コ
イル」(振動數400)ノ物ヲ用ヒタ。電極トシテハ2
枚ノ銀板ヲ用ヒ其ノ間ノ距離ヲ自由ニ加減シ得ル様

ニシタ。
方法——型ノ如ク行フ。
成績——

Kohlrausch 氏法ニヨル實驗成績

| 方 向 | I | | II | | III | | IV | | V | | 平 均 |
|--------|------|-----|------|---|------|-----|------|-----|------|-----|--------|
| | 抵抗 | 比 | 抵抗 | 比 | 抵抗 | 比 | 抵抗 | 比 | 抵抗 | 比 | |
| 縦 | 2700 | 1 | 1000 | 1 | 2600 | 1 | 740 | 1 | 960 | 1 | 1 |
| 横 | 6400 | 2.4 | 3000 | 3 | 6000 | 2.3 | 2100 | 2.8 | 2500 | 2.6 | 2.5 |

總括——此方法デハ
縦：横 = 1：2.3—2.8

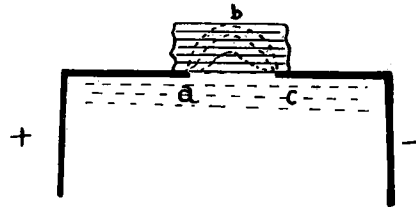
平均 1：2.5

第3章 考察及ビ結論

上記ノ液槽ノ小穴上ニ縫匠筋ヲ載セ、槽ノ兩側ヲナス金屬板ニヨリテ電流ヲ通シタ場合ニ筋
肉内ノ電流徑路ハ筋肉ガ等質ノ傳導體デアルトスレバ大略第3圖ニ示シタ様ニナルデアラウケ
レドモ、若シ筋肉纖維ノ方向ニ半滲透性ノ膜ガアツテ其處デ分極ガ起ルナラバ電流ガ分散スル

カラ筋肉内ノ電流徑路ハ逆睹シ難イモノトナル。

(第 3 圖)



兎ニ角、私ノ實驗デハ筋肉纖維ノ方向ヲ電流ノ方向ニ對シテ直角ニ置イテ場合ト、同方向ニ置イテ場合トノ間ニ、刺戟閾ノ太サニ於テ、直流電氣ヲ用ヒタ場合ニ縦：横 = 1:1.3—1.7 平均 1:1.44 デ横ノ興奮性ハ縦ノ 7 割トナル。開放感應電流ヲ刺戟ニ用ヒタ場合デハ平均 縦：横 = 1:1.3 トナリ。横ノ興奮性ハ縦ノ 7 割 7 分トナル。又筋肉ノ電氣抵抗ノ縦ト横トノ比ハ電流強度ニヨル成績ハ横ハ縦ノ 2.2 倍トナリ。[Wheatstone 氏橋]ヲ用ヒ交流ヲ測ツタ成績デハ横ハ縦ノ 2.5 倍トナツタ。

此成績ヲ見ルト筋肉ニ電流ヲ通ズル際縦ノ方向横ノ方向トデ相違ノ起ルノハ縦ト横トノ間ニ於ケル電氣抵抗ノ相違ニヨルモノデアリ、尙ホ又、一見 Cosinus 則ガ當テハマラナイ觀ガアルケレドモ、前述ノ様ニ筋肉間ヲ流ルル電流徑路ノ方向ガワカラナイトスルト、固ヨリ之ヲ云々スルコトハ出來ヌ。唯私ノ實驗成績デ云フ事ノ出來ルノハ電氣抵抗ガ横ノ方向デハ縦ノ方向ヨリモ大デアリ、從ツテ、筋肉興奮ノ刺戟閾モ大略抵抗ノ割合デ横ノ方向ガ大デアルト云フコトデアル。

此筋肉ノ横徑ニ於テ縦徑ヨリモ興奮性ノ小ナル理由トシテ次ノ様ナコトガ考ヘラレル。

即チ、筋纖維ガ半透膜デ含マレテナリ、其ノ膜ハ(-)「イオン」丈ヲ通過シ得ル性質ノ物トスレバ(+)「イオン」ハ極ニ近キ膜面デ集積シ他極ニハ稀薄トナリ所謂分極ガ起リ逆電動力ガ生ズル爲ニ分極ヲ起シタ電流ニ對スル抵抗トナル。又(+)「イオン」ノ集積シタ處デ興奮性昂リ、稀薄トナツタ所デハ興奮性が減ズル生理的「エレクトロトヌス」之デアル。ソレガ電流ヲ筋纖維ノ方向ニ通ジタ場合ト之ト直角ノ向キニ通ジタ場合トデ相違ノ起ル理由ハ何處ニアルカ。纖維ノ方向ニ通ジタ場合デハ距ツタ所デ分極ガ起リ、ソレガ一定ノ値ニ達スルト興奮ガ起ルケレドモ、纖維ノ方向ニ直角ニ通ジタ場合デハ纖維ノ幅丈距テテ向合ツタ所ニ分極ガ起ルカラ生理的「エレクトロトヌス」ノ作用ガ消合ツテ興奮ガ起ラナイ。私ノ實驗ニ於テ直角ニ通シテモ興奮ノ起ツテナルノハ一見矛盾シタ様デアルガ、前ニモ述べタ様ニ外カラハ筋纖維ノ方向ニ直角ニ通シテキテモ筋肉内デハ斜ニ通シテキル物ガ生ジ之ガ刺戟トナルモノト考ヘラレル。

電氣抵抗ガ纖維ノ方向ニ於テハ夫レニ直角ノ方向ヨリモ小ナル理由トシテハ、纖維ノ方向デアルト電流ハ筋肉ノ表層ニ位スル纖維丈ヲ通ジ分極ニヨル抵抗ハ一列ノ纖維ノ表面丈カラ起ル

モノが加ハル、然ルニ纖維ニ直角ニ通シタ場合デハ電流ハ必ズ極間ニアル數列ノ纖維ヲ横切ラネバナラス。一々其ノ表面デ分極ガ起レバ其ノ電動力ハ各纖維ノ分極流ヲ直列ニ連絡セルモノニ等シイカラ逆電動力即チ抵抗ハ縦ノ場合ニ比シ遙ニ大ナルノデアアル。

以ヒノ様ニ考ヘテ觀ルト、筋肉纖維モ神經纖維ノ様ニ半滲透膜デ包マレテタルモノデアリ其ノ膜面デ起ル分極ガ一定ノ値ニ達シタ時ニ興奮ガ起ル。又此分極ハ逆電動力トシテ抵抗ニ加ハル、特ニ纖維ノ方向ニ直角ニ通ズル場合ニハ極間ニアル各纖維ノ分極流ヲ直列ニ連絡スルコトニナルカラ、夫レニ相當スル大ナル抵抗ガ加ハル。

神經ヤ筋肉ガ電流ニ依テ興奮ヲ起スノハ分極ノ結果デアリ、分極ガ起レバ其ノ逆電動力ガ新ナル抵抗トシテ加ハル夫レニ打勝ツテ一定ノ分極ヲ起サウトスルニハ更ニ大ナル電壓ヲ加ヘナケレバナラス。筋ヤ神經ノ縦ト横トデ電氣抵抗ノ異ルノハ其ノ爲デアリ、若シ、其ノ興奮性ヲ刺戟閾ノ電流ノ逆數デ表ハストスレバ、横ノ方ガ縦ヨリモ興奮性ガ小デアルコトニナルケレドモ、此場合縦ト横トデ抵抗ノ異ルノハ興奮物質ノ性質ノ相違ニヨルノデナク其ノ境デ起ツテタル事柄デアアル。シテ觀レバ、一般的ニ興奮性ヲ表ハスニ刺戟閾ノ逆數ヲ以テスルト云フ事モ正シイ表現デナイコトニ氣ガツク。

終リニ臨ミ、御指導ト御校閲ヲ辱ウシタル生沼教授ニ感謝ノ意ヲ表シマス。

文 獻

- 1) *Nagels*, Handbuch d. Physiol. d. Mensch. Bd. 4, 1909. 2) *Du Bois Reymond*, Untersuch. über thier. Elektr. I S. 296, u. II S. 354. 3) *A Fick*, Würzburger Verhandlungen Bd. 9, S. 228, 1876. 4) *Ablecht u. Meyer*, Pflügers Arch. Bd. 21, S. 462, 1880. 5) *Tschürjew*, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1877, S. 489. 6) *Giuffré*, Pflügers Arch. Bd. 21, s. 462. 1880, 7) *Rushton*. J. Physiol. Vol. 63, p. 357—77, 1927.