

日本

# 生理学

雑誌

JOURNAL OF THE PHYSIOLOGICAL SOCIETY OF JAPAN

27巻 9号 1965

原 著

- 河村洋二郎・船越正也・西山亨・真島利雄：舌筋活動の筋電図学的研究……………429
- 河村洋二郎・船越正也・西山亨・真島利雄：舌筋よりの自己受容性信号とその延髄投射……………436
- 谷国勝美・藤本勝喜・川端五郎：細胞内電位値の検討  
Ⅰ．銀・塩化銀電極の単極電位差 Ⅱ．微小電極の液間起電力……………446
- 谷国勝美・藤本勝喜・川端五郎：細胞内電位値の検討  
Ⅲ．蛋白溶液の液間起電力……………454

地方小学会報

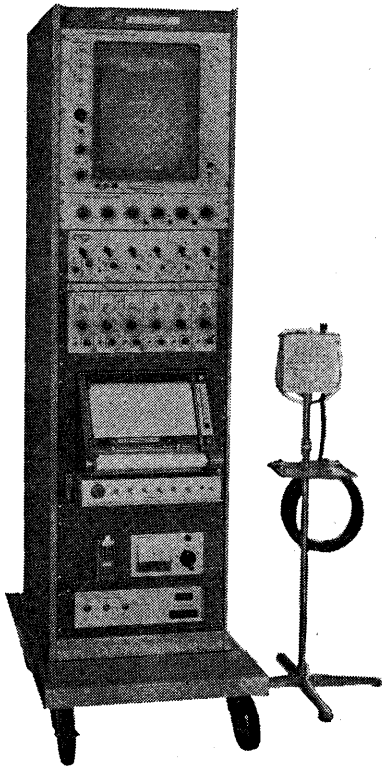
- 第167回生理学東京談話会……………463

短 報

- 〔見聞記〕 1. 富田恒男：第30回 Cold Spring Harbor Symposium……………465  
2. 藤森聞一：Nobel シンポジウム「筋の求心性インプルスと運の調節」について……………465
- 〔班研究便り〕 佐藤昌康：知覚および運動系における coding 機構の研究……………467
- 〔会報〕 日本学術会議々員候補者推薦……………467
- 〔編集後記〕……………467

日本生理誌  
J. Physiol. Soc. Japan

日本生理学会



基礎医学の研究に

最高水準のエレクトロニクスを!

ポリグラフ PG-602形

脳心筋血呼吸呼吸気精神呼吸指尖單位心酸体  
 電電  
 流流  
 速速  
 量量  
 圧圧  
 象象  
 線線  
 波波  
 位位  
 音音  
 度度  
 温温

主要製品

脳波計 脳波分析装置 筋電計 ポリグラフ ベッドモニター ハートスコープ フィジオグラフ 医用テレメータ オシログラフ各種



三栄測器株式会社

東京都新宿区柏木1-89(伊藤ビル) Tel (363)8251代

LABORATORY



ANIMALS

実験動物

マウス, ラット

ウサギ, モルモット

ハムスター, その他

CLEA 固型飼料

CA-1 マウス, ラット繁殖用

CE-2 マウス, ラット飼育用

CR-1 ウサギ, モルモット飼育用

犬用 (ビタワン)

ケージその他器具の御用命に応じます。

北山商店

京都市南区吉祥院西ノ庄向田町43

電話 京都 (37) 6 9 5 3

舌筋活動の筋電図学的研究 612. 311. 3 : 612. 743 : 612. 825. 58

河村洋二郎・船越正也・西山亨・真島利雄\*

Electromyographic analysis of tongue muscle activities in the cat

KAWAMURA-Yojiro, FUNAKOSHI-Masaya, NISHIYAMA-Tooru, MAJIMA-Toshio\*

The spontaneous activities were detected from some neuromuscular units (NMU) of the tongue muscle in the decerebrated cat even in the resting state.

Some of these spontaneously discharging NMU showed regular and persistent discharges, but the other showed the respiratory fluctuation in discharge frequency. The former was distributed widely in the tongue muscles, but the latter was only in the definite part of it. Especially, among the latter the NMUs which were facilitated by inspiration were mostly located in the tongue retractor, such as the styloglossus, hyoglossus and longitudinal lingual muscles, while the NMUs which were facilitated by expiration were detected in the tongue protruder, such as the genioglossus muscle.

The discharges of NMU in the tongue retractors were increased by a forward stretch of the tongue. Conversely, those of NMU in the tongue protruders were decreased by a forward stretch of the tongue.

These responses to stretch were not affected at all by anesthesia of the surface of the tongue with xylocaine spray. However, the responses completely disappeared after the dissection of the lingual or glossopharyngeal nerve. Therefore, there may be some deep mechanoreceptors in the tongue and the afferent path may pass through the lingual or glossopharyngeal nerve.

〔J. Physiol. Soc. Japan (1965) 27, 429-435〕

Ⅰ. 緒 言

顔面筋、咀嚼筋並びに舌筋など cranial nerve で支配される cranial muscle は、形態の上でまた機能の上で脊髄神経から支配される四肢筋と異なった特徴を持っている<sup>1)2)3)</sup>。特に舌筋は関節とは関係のない non-joint moving muscle<sup>1)</sup>である。舌は一端が骨に附着し他端が自由に舌中に終っている extrinsic tongue muscle と舌中に始まり舌中に終っている intrinsic tongue muscle から構成されているため容易に形を変えることができ、複雑微妙な運動を行なうことができる。また、舌筋は咀嚼筋によって動かされる口の中に存在し顎の動きに調和して巧妙に動く。このような構造は身体他部には存在しない。このように特殊な動きを行なう舌筋活動の調節には当然脊髄支配の四肢筋におとらない巧妙な運動制御の神経筋機序の存在することが予想され

る。しかも、筋活動の自己調節に関与する筋紡錘が哺乳動物の舌筋に存在するか否かについては形態学的にも今日なお種々論議されていて確定されていない<sup>4)5)6)7)8)9)10)11)12)13)14)15)16)17)19)</sup>。

本研究は前記のごとき巧妙な舌筋活動調節機序を神経生理学的観点から解明するために行なったものである。本論文では、その第1段階として舌筋の自発性活動を筋電図によつて分析し、その結果にもとづいて舌筋活動調節の神経機構に考察を加えた。

Ⅱ. 実験方法

実験には雌雄成猫12匹を使用した。動物は除脳後 Johnson 型動物固定装置に固定した。各舌筋の自発性筋活動を記録分析したが、筋電図の記録電極には 1/3 皮下針を利用した一針同心型のものを使用した。舌の伸張には、舌尖に縫いつけた外科手術用縫合糸の他端に分銅を吊るし、滑車を介して舌を前方に牽引した。牽引時の舌の動きは抵抗線歪計を介して筋電図と共にブラウン管オツシロスコープにより同時記録した。

\* 大阪大学歯学部口腔生理学教室  
Department of Oral Physiology, Dental, School,  
Osaka University.

〔昭和40年6月7日受付〕

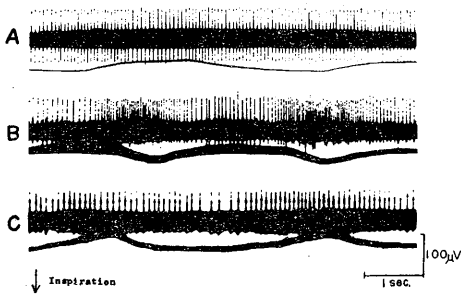


Fig. 1.

Spontaneous discharges from the tongue muscles.

- A : Regular discharges were observed without any relation with the respiratory movement.  
 B : Discharge frequency increased during the inspiratory phase.  
 C : Discharge frequency increased during the expiratory phase. Upper : EMG, Lower : Respiratory movement.

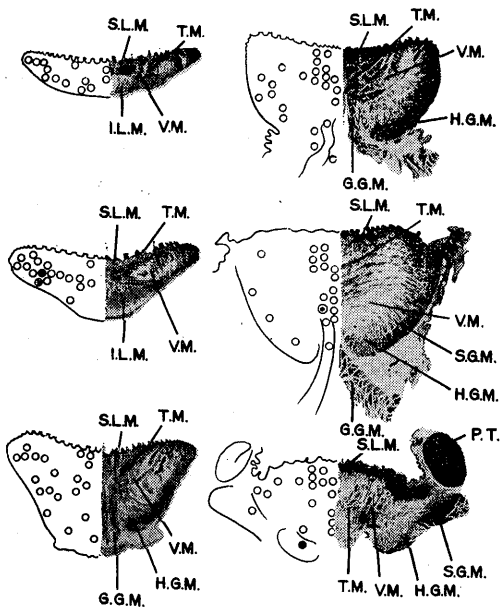


Fig. 2.

Schematic diagrams indicating distribution of three types of spontaneously discharging neuro-muscular units in the coronal section of the tongue.

Open circle : Regular type (Fig. 1, A), Solid circle : Inspiratory activated type (Fig. 1, B), Double circle : Expiratory activated type (Fig. 1, C).

S.L.M. : Superior longitudinal muscle, I.L.M. : Inferior longitudinal muscle, T.M. : Transverse muscle, V.M. : Vertical muscle, G.G.M. : Genioglossus muscle, H.G.M. : Hyoglossus muscle, S.G.M. : Styloglossus muscle.

一部実験では舌よりの求心性信号を遮断して自発性舌筋活動あるいは舌伸張時の舌筋反応がいかに関与されるかを分析するため舌神経および舌咽神経を切断した。この際には、予め舌神経および舌咽神経に糸をかけておき、実験中必要に応じてこれら神経を容易に切断できるようにした。筋電図記録後、記録電極に1mAの電流を約30秒間通電し記録部位を電気凝固せしめ、実験後舌の組織標本を作製し記録電極先端の位置を確認した。

### Ⅲ. 実験成績

#### 1. 舌筋の自発性活動

安静時の除脳猫の舌筋では自発性活動を示さない部分が多かった。しかし、慎重に検索することにより自発性活動を示す神経筋単位 (Neuro-muscular unit, NMU) が僅かながら存在した。これら自発性 NMU 放電の大部分は振幅が100-500  $\mu$ V、持続約3 msecのもので、図1に示すごとく呼吸相には関係なく、比較的規則正しく(約17 spikes/sec)放電するものと、呼吸の周期に一致して放電頻度が増減するものの2つのタイプが認められた。呼吸周期に一致して放電頻度が増減する NMU 活動には、吸息相で放電頻度の増加するもの (Bタイプ) と減少するもの (Cタイプ) の2種が存在した。図に示した例ではBタイプの NMU 放電は吸息相で約11 spikes/sec、吸息相で約28 spikes/secの活動を、Cタイプの NMU 放電は吸息相で約7 spikes/sec、呼息相で約13 spikes/secの活動を示している。

図2は舌尖から舌根部に向って各レベルでの舌の横断面上に、前記のような自発性活動を記録し得た点の分布を略記したものである。比較的放電頻度が恒常的な NMU 活動を示した点 (白丸印) は、広く各舌筋に認められたが、吸息相に一致して放電頻度が増加した点 (黒丸印)、および放電頻度が減少した点 (二重丸印) は、特定の舌筋にのみ認められた。吸息相に放電頻度の増加した点は主として茎突舌筋、縦舌筋および舌骨舌筋に存在し、逆に吸息相に放電頻度

の減少した点は頤舌筋に主として存在した。

## 2. 舌筋筋電図活動に対する舌伸張の影響

舌を前方に数秒間伸張した時、前記舌筋の自発性活動がいかに変化するかを検討した。なお、呼吸相によって放電頻度の増減する NMU は舌伸張効果の判定が困難であるため、本実験ではすべて恒常的に自発性放電を示した NMU 活動のみを対象にした。

前記舌筋の自発性放電は、舌伸張に対する反応パターンから、図 3 に示したごとく、舌伸張によって放電頻度の増加するもの(A)、逆に舌伸張中放電頻度が減少するもの(B)、および舌伸張によっては自発性筋電図の放電頻度に何ら変化の生じないもの(C)の3種に区別できた。これら3種のうち舌を伸張しても自発性の筋電図活動が何ら変化しない(C)型が最も多く総数 200 の測定点中約 45% を占めた。図 3 において、Aは茎突舌筋舌根部から記録したもので、舌を 50 g の負荷により前方に約 3 秒間伸張した場合、12 spikes/sec の自発性 NMU 放電が約 19 spikes/sec に増加した例である。この反応は遅順応性で、舌伸張の 3 秒間中ほぼ 19 spike/sec の放電レベルを維持した。このように舌伸張操作により放電頻度が増加する舌筋中の NMU は舌伸張の強さを高めるとそれに伴って放電頻度が増加した。図 3 Bは舌尖より約 3 cm 後方の横舌筋外側部より記録した反応で 100 g の荷重で舌を前方に伸張させた場合、16 spikes/sec の自発性 NMU 放電は 8 spikes/sec に減少した。これら舌伸張により誘発された筋電図放電の促進あるいは抑制現象は舌伸張を中止すると直ちに舌伸張前のレベルに戻った。なお図 3 Cは舌伸張によっても舌筋活動に何ら変化を認めない点の例である。この例は上縦舌筋舌尖部からの記録で 200 g の荷重により舌を伸張したが、放電頻度には全く変化が認められなかった。以上は自発性活動を示した舌筋中の点が舌伸張に対して示した反応である。

自発性活動を示さなかつた舌筋中の大部分の点は、図 4 Cに示したごとく 200 g の荷重で舌を伸張しても何の反応も示さなかつた。しか

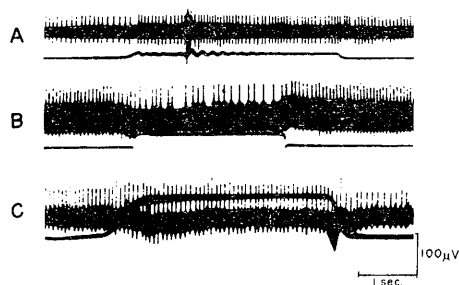


Fig. 3.

Effects of stretch on the discharge frequency of the spontaneously discharging neuro-muscular unit of the tongue.

- A : Discharge frequency increased.
- B : Discharge frequency decreased.
- C : No effect.

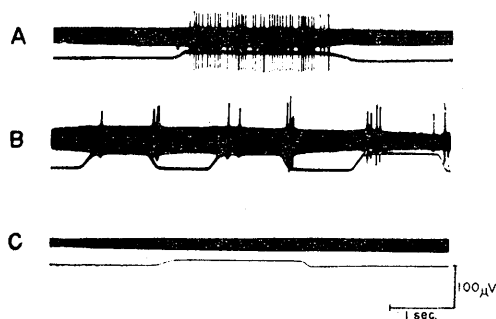


Fig. 4.

Effects of stretch on the quiescent neuro-muscular unit of the tongue.

- A : Slowly adapting 'on' response.
- B : Transient 'on-off' response.
- C : No effect.

し、全く自発性放電を示さない舌筋部にも舌伸張により反応が誘発される点が存在した。この反応には2種のタイプがあり、図 4 Aに示したごとく、舌伸張中遅順応性の持続性放電が誘発されるものと、図 4 Bに示したごとく舌伸張操作に応じて on-off タイプの一過性の放電を示すものがあった。図 4 Aは舌尖から約 4 cm 後方の茎突舌筋中の点から記録した例で、100 g の荷重により舌を前方に伸張させた場合約 20 spikes/sec の筋電図放電が誘発され、伸張をやめると直ちにこの放電は消失した。また図 4 Bに示した例は舌根部で垂直舌筋から記録したものである。舌の伸張開始時と伸張中止時にそれ

ぞれ一過性の放電が出現した。

以上、舌伸張により持続性筋電図活動の誘発される点、自発性放電の頻度が増加する点あるいは減少する点など筋電図変化が誘発された舌筋中の72点につき総括してその分布を図5に示した。図において黒丸で示した点は舌伸張により放電が誘発されるか、また自発性放電の頻度が増加した点で総数52点(72%)あり主として上、下縦舌筋、垂直舌筋、茎突舌筋および舌骨舌筋などに認められた。これに対し、白丸で示

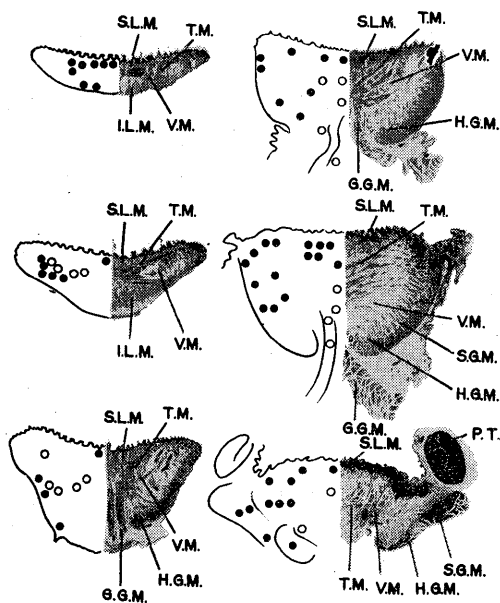


Fig. 5.

Schematic diagrams indicating distribution of the Neuro-muscular Units responded to stretch of the tongue.

Solid circle: Discharge frequency increased, Open circle: Discharge frequency decreased. Abbreviations are same in Fig. 2.



Fig. 6.

Disappearance of the stretch response after dissection of the ipsilateral lingual nerve.

A: Before dissection.  
B: After dissection.

した点は、舌伸張により自発性筋電図放電の抑制された点で、主として横舌筋、垂直舌筋および頤舌筋などに認められ、総数20点(28%)であった。なお、この他、舌の伸張には応じないが舌粘膜や口蓋粘膜の強い機械的刺激に対し反射的に一過性の放電を示した点が存在したが、これらの点は広く舌全体にわたって存在した。

### 3. 舌表面麻酔の舌筋活動に対する影響

舌筋に認められた前記のごとき伸張反射に舌粘膜に存在する表在性感覚受容器が関与しているのか、あるいは舌深部に存在する受容器が関与しているのかを検討するため舌表面に10% Xylocaine 溶液を十分に噴霧し、その前後について舌伸張反射を比較した。xylocaine 麻酔後1-5分毎に30分後まで数回舌を伸張させたが舌表面麻酔後も舌伸張に対する筋電図放電頻度の増加反応には殆んど変化は見られなかった。

### 4. 舌よりの求心性神経切断の影響

前記のごとく舌伸張により筋電図活動が促進あるいは抑制される点が舌筋中に存在したことは舌伸張に反応して信号を中枢に送る深部受容器が存在し、この求心性信号が舌筋支配の舌下神経核運動ノイロン活動をしていることを暗示している。そこで前記舌伸張により舌の proprioceptive reflex に関与する求心路を明らかにするため舌神経および舌咽神経の切断実験を行った。

図6Aは左側舌縁部で舌尖より15mm後方の点より記録した反応である。50gの荷重により舌を前方へ伸張することにより誘発された約10 spikes/secの筋電図放電は反対側舌神経切断によっては何ら影響を受けなかったが同側舌神経切断により図6Bに示したごとく全く消失した。舌の前2/3の部分から記録されるNMUの舌伸張による促進反応は舌神経の切断により消失したのに対し、右側舌縁より5mm内側で舌尖より約60mm後方の点(舌の後1/3の部分)で、50gの荷重による舌の前方への伸張により誘発されたNMU放電は同側舌神経切断によっては影響されず、同側舌咽神経切断によりはじめて消失した。

なお、呼吸周期に一致して放電頻度が増減する NMU の活動は舌神経および舌咽神経を切断しても何ら影響をうけなかった。

#### Ⅳ. 考 察

人の舌は一定の収縮状態を維持させても容易に舌筋筋電図振巾に変動が現われ、また極めて弱い随意収縮を行なっても四肢筋とは異なり多数の spike discharge が出現して干渉電位を形成する。さらに人の舌筋の NMU は多くのものが約 30 spikes/sec の頻回放電を行い、放電間隔の動揺が四肢筋に比べて著明である<sup>20)21)</sup>。しかもこれら舌筋の NMU 放電は順応が速かで振巾は小さく 500  $\mu$ V 以下にすぎない。このように舌筋の筋電図には四肢筋と異った生理的特性のあることが知られている。また Green and Negishi<sup>18)</sup> は猫の舌下神経核について僅かではあるが自発性活動を示す細胞の存在することを認めている。故にこれら自発性活動を示す運動ノイロンに支配される舌筋線維群が自発性活動を示している可能性は十分考えられる。しかし、他方 Blom<sup>19)</sup> は除脳猫の舌についての実験から、安静時にもまた舌伸張時にも舌筋はなんら電氣的活動を示さないことを報告した。ただし彼は下顎下制時および動物の全身状態が悪く深く大きい呼吸運動を行なう時には舌筋活動が記録されたと報告している。

本実験結果は Blom<sup>19)</sup> の成績とは異なり極めて注意深く電極を舌筋に挿入し、広範囲にわたって探索することにより安静時にも緊張を維持し自発性活動を示す舌筋線維の存在することを明らかにした。しかも、このような自発性活動を示す筋線維の中には他動的に舌筋を伸張させた場合にこれに応答して放電頻度の変化するものがあつた。勿論、著者らも安静時の舌筋には何ら活動を認めない部分が多いことを認めている。しかも、安静時に舌筋筋電図を記録しえた点についてもこれら舌筋活動が麻酔および除脳によりかなり減弱することを観察した。特に、除脳後四肢筋の除脳固縮が起らず却って全身の骨格筋特に咀嚼筋の筋緊張が著しく減弱してい

る場合には、舌筋より筋電図を記録することは非常に困難であつた。Blom<sup>19)</sup> が除脳猫について安静時の舌筋筋電図を記録することが出来なかつたのは恐らく前記のごとき測定条件の差が関係しているものと思われる。

除脳猫の舌筋より記録された NMU 放電の大部分は他動的に舌を伸張しても何ら反応しないものであつたが、一部の NMU は舌伸張によりその放電頻度が促進または抑制された。この現象は舌表面を xylocaine 噴霧により十分に麻酔させ表在性感覚受容器が働かない状態にしてもなお存在したことから舌伸張により舌に存在する deep mechanoreceptors からの信号によって誘発された反射と考えなければならない。そもそも舌筋には筋紡錘が極めて少ないかあるいは全く存在しないことが多くの先人の研究により明らかにされている<sup>4)5)6)7)8)9)10)11)12)13)14)15)16)17)19)</sup>。特に猫の舌筋については筋紡錘の存在は Sherrington<sup>10)</sup>, Cooper<sup>7)</sup>, Law<sup>17)</sup>, Blom<sup>19)</sup> らによって全く否定されている。しかし舌筋が極めて巧妙にその位置、形を反射的に変化させ、その緊張状態を調節することから考えて舌に存在する何らかの減覚受容器を介し反射的にこれら機能が遂行されているものと考えざるを得ない。古く Langworthy<sup>8)</sup> は猫の舌筋中に筋紡錘を認めたことを報告したが、本実験結果は舌筋中の何らかの deep mechanoreceptors が前記のごとき舌筋緊張の調整に関与していることを強く暗示している。

舌伸張により放電が誘発されたり、放電頻度が増加した点は上、下縦舌筋、茎突舌筋、舌骨舌筋等主として舌の引っ込めに関与する各舌筋に存在した。また、舌伸張により自発性放電の頻度が減少した点は横舌筋、頤舌筋等主として舌の突き出しに関与する各舌筋に存在した。この事実は既述のごとく舌筋中の deep mechanoreceptors より信号により舌緊張、舌運動が proprioceptive reflex により制御され舌筋が過度に伸張されることを防いでいるものと解釈したい。

舌伸張に反応する deep mechanoreceptors か

らのインパルスは、神経切断実験から明らかになどく、少なくとも舌神経および舌咽神経を通じて中枢に送られるものである。なお迷走神経、舌下神経等を経て送られる求心路が存在する可能性もあるがこの点については今後の研究が必要である。

また、舌伸張により誘発される前記現象は舌の前2/3の部分からのものは舌神経の切断により、舌の後1/3から記録されたものは舌咽神経の切断によりそれぞれ消失した。ゆえに前記反応に関与する deep mechanoreceptors の神経支配も舌粘膜の神経支配分布と同じく舌の前2/3に存在するものは舌神経により、後1/3に存在するものは舌咽神経によって支配されているものであろう。

なお、呼息期に一致して放電頻度が増加した点が主として突き出し筋に、吸息期に一致して放電頻度の増加する点が逆に引っ込め筋に存在したことから、舌は呼吸に応じて呼息相には舌の突き出しが、吸息相には舌の引っ込めがそれぞれ交互に行なわれていることを物語っている。これらは恐らく呼吸中枢から舌筋支配の舌下神経核に機能的連絡が存在するためであろう。

## V. 総 括

1. 除脳猫の安静時舌筋に自発性活動を示す部分のあることが舌筋筋電図より明らかになった。これら自発性活動を示す舌筋中の点には呼吸相に関係なく規則正しく放電を示す点、吸息期に放電頻度の増加する点、および吸息期に放電頻度の減少する点が存在した。呼吸相に関係なくほぼ恒常的な頻度で自発性放電を示した点は広く各舌筋に分布したが、吸息相に放電頻度の増加した点は主として茎突舌筋、縦舌筋および舌骨舌筋など舌の引っ込めに関係する舌筋中に存在した。また、吸息相に放電頻度の減少した点は舌の突き出し筋である頤舌筋中に主として認められた。

2. 上、下縦舌筋、茎突舌筋、舌骨舌筋等舌の引っ込め筋中には舌を前方に伸張することに

より活動が増加する点が存在した。また、頤舌筋等舌の突き出し筋には舌伸張により活動が抑制される点が存在した。

3. 前記の舌伸張反射は舌粘膜表面麻酔によっても何ら影響を受けなかった。また、この舌伸張反射は舌神経または舌咽神経の切断により消失した。故にこの反射は舌に存在する deep mechanoreceptor を介し生じさせられるもので、求心性神経線維は、舌神経および舌咽神経中を走っている。

本論文の要旨は昭和40年2月第32回近畿生理学談話会(神戸大学医学部)で発表した。

This investigation was supported in whole by Public Health Service Research Grant DE-01718, from the National Institute of Dental Research, National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, U.S.A.

## 文 献

- 1) Cooper, S. (1960) Muscle spindles and other muscle receptors, *The Structure and Function of Muscle*, edited by G. H. Bourne, Vol. I. 381-417, Academic Press, N. Y.
- 2) Hosokawa, H. (1961) Proprioceptive innervation of striated muscles in the territory of cranial nerves. *Texas Reports on Biol. & Med.* **19**, 405-464
- 3) Kawamura, Y. (1964) Recent Concepts of the physiology of mastication, *Advances in Oral Biology*, edited by P. H. Staple, Vol. I. 99-107, Academic Press, N. Y.
- 4) Forster, L. (1894) Zur Kenntnis der Muskelspindeln. *Virchow's Arch.* **137**, 121-154, cited by Blom (1960) *Acta Physiol. Scand. Suppl.* **170**, 1-97
- 5) Batten, F. E. (1897) The muscle spindle under pathological conditions. *Brain* **20**, 138-179
- 6) Hewer, E. E. (1935) The development of nerve endings in human fetus. *J. Anat. Lond.* **69**, 369-379
- 7) Cooper, S. (1953) Muscle spindles in the intrinsic muscles of the human tongue. *J. Physiol.* **122**, 193-202
- 8) Langworthy, O. R. (1924) A study of the innervation of the tongue musculature with particular reference to the proprioceptive mechanism. *J. Comp. Neurol.* **36**, 273-297
- 9) Tarkhan, A. A. (1936) Ein experimenteller Beitrag zur Kenntnis der proprioceptiven Innervation

- der Zunge. Zschr. Anat. Entw. **105**, 349-358
- 10) Sherrington, C. S. (1894) On the anatomical constitution of nerves of skeletal muscles; with remarks on recurrent fibres in the ventral spinal root. J. Physiol. **17**, 211-258
  - 11) Baum, J. (1900) Beiträge zur Kenntnis der Muskelspindeln. Anat. Hefte, 1. Abt. **13**, 251-305, cited by Hosokawa (1961) Texas Reports on Biol. & Med. **19**, 405-464
  - 12) Carleton, A. (1938) Observations on the problem of the proprioceptive innervation of the tongue. J. Anat. Lond. **72**, 502-507
  - 13) Boyd, J. D. (1937) Proprioceptive innervation of mammalian tongue. J. Anat. Lond. **72**, 147-148
  - 14) Boyd, J. D. (1941) The sensory component of the hypoglossal nerve in the rabbit. J. Anat. Lond. **75**, 330-347
  - 15) Weddel, G., J. A. Harpman, D. G. Lambley and L. Young (1940) The innervation of the musculature of the tongue. J. Anat. Lond. **74**, 255-267
  - 16) Barnard, J. W. (1940) The hypoglossal complex of vertebrates. J. Comp. Neurol. **72**, 489-524
  - 17) Law, M. E. (1954) Lingual proprioception in pig, dog and cat. Nature **147**, 1107-1108
  - 18) Green, J. D. and K. Negishi (1963) Membrane potentials in hypoglossal motoneurons. J. Neurophysiol. **26**, 835-856
  - 19) Blom, S. (1960) Afferent influences on tongue muscle activity, A morphological and physiological study in the cat. Acta Physiol. Scand. Suppl. **170**, 1-97
  - 20) 切替一郎 (1953) 耳鼻科領域に於ける筋電図の応用的研究 28年度文部省総合研究報告集録 医学及び薬学編
  - 21) 藤田康之・戸塚元吉 (1953) 人の舌筋の働き方の筋電図学的研究 第11回筋電図研究会総会

## 舌筋よりの自己受容性信号とその延髄

投射 612. 311. 3 : 612. 819. 5. 9. : 612. 885 : 612. 828

河村洋二郎・船越正也・西山享・真島利雄\*

Afferent impulses from tongue for autogenetic regulation  
of tongue muscle activity

KAWAMURA-Yojiro, FUNAKOSHI-Masaya, NISHIYAMA-TOORU, MAJIMA-Toshio \*

1) In the lingual and glossopharyngeal nerves of the cat, a few fiber was detected to respond to stretch of the tongue. This response was slow adaptive and the nerve impulse sustained during stretch of the tongue. The frequency of impulses recorded from these nerve fibers was increased in proportion to intensity of the tongue stretching. While, activities of these nerves were depressed by contraction of the tongue muscle.

2) The activities of several spots in the sensory nucleus of trigeminal nerve, nucleus of tractus solitarius, dorsal nucleus of vagal nerve, bulbar reticular formation and in the nucleus of hypoglossal nerve were activated by stretch of the tongue. On the contrary, activity of some spots in the hypoglossal nucleus were inhibited by stretch of the tongue.

[J. Physiol. Soc. Japan (1965) 27, 436-445]

### I. 緒 言

著者ら<sup>1)</sup>はさきに除脳猫につき舌筋中に自発性活動を示す筋線維の存在すること、および舌筋には舌伸張に対して反射的に放電頻度が増加または減少する筋線維のあることを明らかにした。これら舌筋活動は舌表面の麻酔によっては何ら影響を受けず舌神経、舌咽神経舌枝を切断することにより消失することから、舌深部に存在する mechanoreceptor を介し生じる反射活動で、求心路として舌神経あるいは舌咽神経が関与していることを明らかにした。

そもそも、人の舌筋には筋紡錘の存在が確認されている<sup>2)3)4)5)6)7)8)9)10)11)</sup>が人以外の哺乳動物の舌筋中に筋紡錘が存在するか否かについては今日なお種々議論されており、結論がでない<sup>12)13)14)15)16)17)18)19)20)21)22)23)24)</sup>。しかし、哺乳動物の舌は、その形を複雑に変化させることができるし、巧妙な運動を行なうので、舌の緊張調節、位置、姿勢の調節のため舌筋自身より何らかの信号が中枢に送られ舌筋活動を feed back

control していることが推察される。

舌を伸張させた場合 Corbin and Harrison<sup>25)</sup>は C<sub>1</sub> の前根枝から、Cooper<sup>26)</sup>および Blom<sup>24)</sup>は舌下神経から、また Barron<sup>27)</sup>は舌神経から、それぞれ舌伸張に応じる活動電位を記録した。また、Green and Negishi<sup>28)</sup>は舌下神経刺激により誘発される舌下神経核細胞の反応パターンより、猫の舌下神経中に舌よりの求心性線維が混在していることを推察した。これら先人の業績から考えて、舌から舌伸張に応じて何らかの信号が中枢に送られていることはほぼ明らかである。

本研究は前報にひきつづき、猫について舌を伸張した場合いかなる信号が舌神経および舌咽神経を介して送られるかを記録すると共に、これら信号の延髄投射と舌下神経核活動に対する影響を検討したものである。

### II. 実験方法

#### 1. 舌神経および舌咽神経反応の記録実験

実験には雌雄成猫15匹を使用した。動物は Nembutal-soda (40 mg/kg 腹腔内注射) で麻酔し固定台に側位に固定した。

舌神経活動の記録実験では、頬部皮膚に口角部より横に約 5 cm の切開を加え、側頭筋、咬

\* 大阪大学歯学部口腔生理学教室

Department of Oral Physiology, Dental School,  
Osaka University

[昭和40年6月7日受付]

筋、顎二腹筋、および内翼突筋を下顎骨附着部より剝離し、下顎骨を臼歯部において切断して下顎枝を除去した。次に舌神経を露出させ、これを鼓索神経分岐部よりやや末梢側で切断し、血管および周囲結合織より注意深く分離した。舌咽神経についての記録実験では、下顎角より喉頭部まで皮膚を切開した。次に舌骨舌筋および茎突舌筋の一部を舌骨附近で切断し、その下に現われる舌咽神経舌枝を出来るだけ中枢側で切断して周囲組織より分離した。分離した神経は手術用実体双眼顕微鏡下で観察しながら、機能的単一神経線維が得られるまで分離した。

舌伸張により誘発される神経の活動電位記録には直径 0.2 mm の白金線電極を用い不関電極には直径約 5 mm の小銀板を用い周囲組織上に固定した。舌を伸張さすには舌尖に縫いつけた糸の他端に滑車を介して分銅を吊るしたがこの時の舌の動きは Force-Displacement Transducer FTO 3 (Grass Instrument Co.) を介し、神経の活動電位と共に、ブラウン管オツシロスコープにより同時記録した。なおこの際、下顎骨は開口位に固定し、舌を伸張する際舌表面が歯や口腔粘膜に接触しないよう留意した。

### 2. 延髄応答点からの記録実験

実験には雌雄成猫 9 匹を使用した。動物は四丘体上丘前端レベルで除脳し、小脳を吸引除去して延髄表面が直視出来るようにした。延髄表面は約 38°C に加温した流動パラフィンで覆った。動物を Johnson 型脳定位固定装置に固定後、micromanipulator を用いて Snider and Niemer<sup>29)</sup> の脳地図に従い記録電極を stereotaxic に 0.5 mm 間隔で延髄内に刺入し、舌伸張に应答する点の分布およびその反応パターンを分析した。

記録電極には尖端約 20 μ の銀線電極を用い、不関電極には直径約 5 mm の小銀板を用い残留頭蓋に固定した。記録には C-R 結合 5 段増巾器を介しブラウン管オツシロスコープに導き、連続記録装置により反応を撮影した。

実験終了後、記録電極に直流通電 (2-3 mA, 20秒間) を行なつて電極尖端部の脳組織を電気

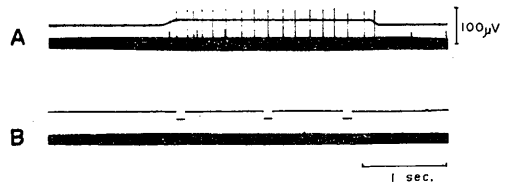


Fig. 1.

Response of a functional single fiber in the lingual nerve.

A: Response induced by forward stretch of the tongue. Trace with spikes, electrical activity of the nerve; smooth trace, tongue movement.

B: No response of the same fiber to touch stimulation. At the signs, touch stimuli were given to the surface of the tongue by a small soft brush.



Fig. 2.

Acceleration of a spontaneous discharge of the single fiber in the lingual nerve induced by forward stretch of the tongue. Upper trace, tongue movement; lower trace, electrical activity of the nerve.

凝固せしめ、チオニン染色脳組織標本を作成して反応点の延髄位置を確認した。

## Ⅲ. 実験成績

### 1. 舌伸張に対する舌神経の反応

舌神経末梢切断端を十数本の神経束に分割し各神経束について舌伸張に対する反応を検討した。舌伸張に対して反応し、電気活動を増加したのはこのうち僅か 1-2 束にすぎなかった。この神経束についてさらに神経線維を細かく分離し図 1 に示したとき機能的単一神経線維の反応を得た。図 1 に示した例では神経線維は自発性放電を示さず、しかも舌粘膜表面の触・圧刺激には全く反応しなかった (図 1 B)。しかし、100 g の荷重により舌を約 7 mm 前方に伸張させると図 1 A に示したごとく約 8 spikes/sec の遅順応性の放電が記録できた。この放電は舌を伸張させている間はほぼ同一頻度を持続し、伸張中止により直ちに消失した。図 2 に示した例は 6 spikes/sec の自発性放電を示した線維で舌を 100 g の荷重により (約 7 mm 前方に) 伸張

した場合 12 spikes/sec に放電頻度が増加し、舌伸張中止により放電はもとのレベルに回復した。このような反応を示した舌神経中の神経線維は全実験を通じ各動物に僅か 2-3 本しか認められなかった。これら舌伸張に反応しインパルスを生じる神経線維は舌表面を 10% Xylocaine 噴霧により麻痺させても何ら影響されずに舌伸張に反応してインパルスを生じた。

## 2. 舌伸張に対する舌咽神経舌枝の反応

舌神経の場合と同様、舌咽神経舌枝中にも舌を他動的に伸張させた場合、これに反応しインパルスを送る神経線維が存在した。図 3 に示した例では 50 g の荷重により舌を前方に伸張することにより約 35 spikes/sec の放電が出現しこの放電は舌伸張中持続し、伸張を中止すれば直ちに消失した。また、約 13 spikes/sec の自発性放電を示した別の神経線維についての例では 50 g の荷重による舌伸張で約 40 spikes/sec に放電頻度が増加した。荷重を除いて伸張を中



Fig. 3.

Response of a single fiber in the glossopharyngeal nerve induced by forward stretch of the tongue. Upper trace, tongue movement; lower trace, electrical activity of the nerve.

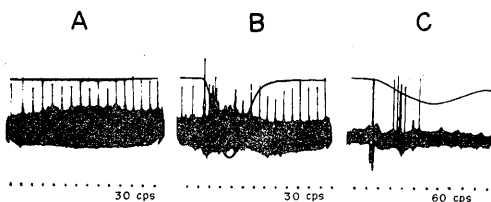


Fig. 4.

Patterns of response of the glossopharyngeal nerve fibers to contraction of the tongue.

A: Response of the single glossopharyngeal nerve fiber during sustained stretch of the tongue.

B: Responses of two fibers in the same preparation during contraction of the tongue.

C: Response of a single fiber during contraction of the tongue. In each figure upper smooth trace represents tongue movement.

止すると放電は直ちに全く消失し約 5 秒後に再び約 10 spikes/sec の自発性放電が現われた。しかしこれら線維は触・圧・温・味覚などいずれの刺激にも全く反応しなかった。なお、前記のごとき舌伸張に反応を示した神経線維は本実験では一側舌咽神経舌枝について僅か 2-3 本認められたにすぎなかった。自発性放電の有無にかかわらず、舌伸張に対する上記神経線維の反応はいずれも順応の遅いもので 1 例をあげると、約 12 秒間舌伸張を行なった場合の反応は、初期の 2 秒間は 20-22 spikes/sec 次の 2 秒間は約 16 spikes/sec の放電を示し、それ以後はほぼこのレベルを維持し伸張をやめるまで頻度 14-16 spikes/sec の放電を持続した。舌伸張度と舌咽神経反応との間には比例関係が存在し 24 spikes/sec の自発性放電を示した 1 本の神経線維についての例では 9 g の荷重では 27 spikes/sec のインパルスが、18 g では 33 spikes/sec, 27 g では 42 spikes/sec, 40.5 g では 51 spikes/sec, 58.5 g では 54 spikes/sec のインパルスが記録された。横軸に舌伸張に用いた荷重の対数を、縦軸に放電頻度を取り両者の関係をグラフに示せば直線関係が得られた。

## 3. 舌筋収縮に対する舌咽神経舌枝の反応

舌伸張に反応し、前記のごときインパルスを中枢に伝える舌咽神経線維が筋収縮時にはどのような応答を示すかを検討した。1 例を示せば図 4のごとくである。図において A, B, C はともに最上段は舌の動き、中段は舌咽神経舌枝の電気活動、下段は時標である。

舌を軽い伸張状態に保った時、この神経線維は図 4 A に示したごとく約 35 spikes/sec の放電を示したが、舌下神経に単一電気刺激 (1 msec, 2 V) を与えて舌筋を攣縮させた場合、図 4 B に示したごとく、筋収縮中放電を停止した。舌筋の収縮が終って収縮前の状態にもどると再び放電が出現した。しかし、刺激直後に別の神経 unit から記録されたと思われるスパイク放電が約 30 msec の間に数個認められた。舌筋収縮に応じるこの unit のみを分離し、舌筋収縮時の反応を記録したのが図 4 C である。

4. 舌伸張に対する延髄応答点の分布とその反応パターン

舌伸張に应答し、放電の増加する点が図5に黒丸印で示したごとく、延髄の obex レベルと obex から吻側へ 4.0 mm のレベルの間に存在した。これら延髄応答点は舌下神経核、三叉神経脊髄路核、孤束核、迷走神経背側核および延髄網様体部に認められた。これら応答点は舌伸張より放電頻度を増加したが、遅順応性で舌を一定の伸張状態に維持している間ほぼ一定頻度の放電が持続した。

三叉神経脊髄路核部につき測定した48点については舌伸張により放電頻度を増加した点は13点存在した。他の5点は舌伸張に応じ一過性の反応を示した。残り30点は舌伸張に対して何ら反応を示さなかった。obex レベルで正中線より 3.5 mm 外側、延髄表面から 2.3 mm 腹側の三叉神経脊髄路核部より記録した反応は約28 spikes/sec の自発性活動を示したが、60 g の荷重で舌を5分間伸張した場合、伸張直後に54 spikes/sec に増加し、30秒後には、48 spikes/sec、1分後には44 spikes/sec、2分後には43 spikes/sec、3分後には42 spikes/sec、4分後には42 spikes/sec、5分後では40 spikes/secで放電の順応は極めて遅かった。なお100 g の荷重により舌を伸張した際のこの点の反応パターンを図6に示した。舌伸張により、放電は約62 spikes/sec に増加し伸張をやめるとその直後に約0.6秒間 electrical silent の時期を経て、伸張前の放電頻度にもどった。なお、舌伸張度と三叉神経脊髄路核内の舌伸張に应答する点の放電頻度との関係は32 g では43 spikes/sec、50 g では52 spikes/sec、67 g では60 spikes/sec、100 g では63 spikes/sec で、伸張の強さの対数に対して直線関係が成立した。

舌下神経核部については測定した点の大部分(28点)は舌伸張に対しても何ら反応を示さなかったが、3点は図7に示したごとく舌伸張により、伸張中持続性の放電を示した。図7はobex より2.5 mm 吻側で正中より1.0 mm 外側、延髄表面より1.0 mm 腹側の舌下神経核部より記

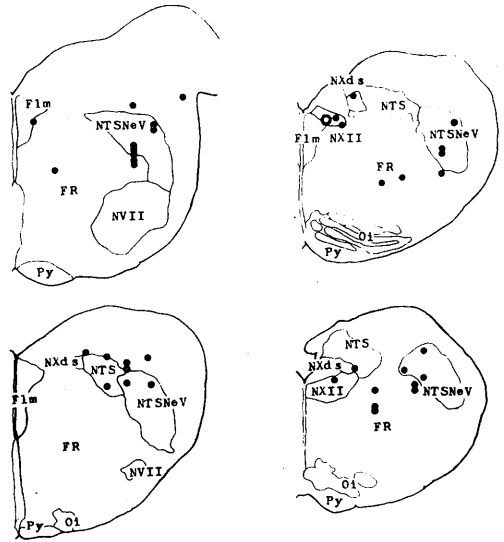


Fig. 5.

A schematic diagram of distribution of the spots in the medulla which responded to forward stretch of the tongue. Solid circle : Spot with facilitatory response, Open circle : Spot with inhibitory response. NTSNeV : Nucl. tractus spinalis n. trigemini, N VII : Nucl. n. facialis, NXbs : Nucl. dorsalis n. vagi, N XII : Nucl. n. hypoglossi, NTS : Nucl. tr. solitarii, Ol : Nucl. olivaris inferior, Flm : Fasciculus longitudinalis medialis, FR : Formatio reticularis, Py : Pyramis.

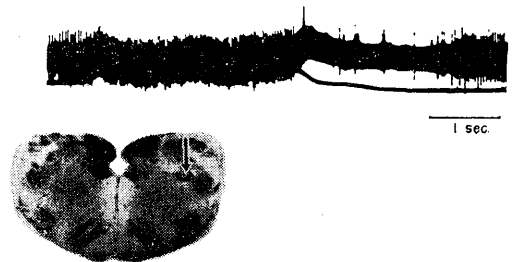


Fig. 6.

Facilitation at the spot in the sensory nucleus of the trigeminal nerve. Upper trace, electrical activity : lower smooth trace, tongue movement. Arrow in the histologic section indicates the position of the recording electrode in the nucleus.

録した1例である。この点は舌の安静時には何ら自発性活動を示さなかったが、100 g の荷重で舌を前方へ徐々に伸張することにより unit discharge が誘発され、舌伸張の強さに応じて放電頻度が増加した。舌伸張状態を維持すると

その間約 9 spikes/sec の放電が持続し、伸張を中止すると直ちに放電は消失した。他の1点は舌伸張の初期にのみ、一過性放電を示した。これらの点以外に舌伸張により活動が抑制

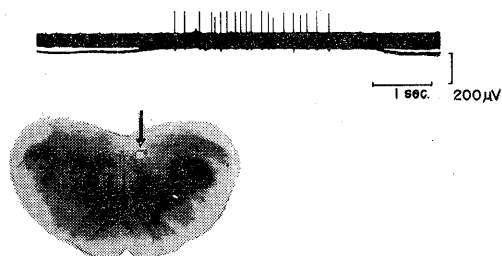


Fig. 7.

Facilitation at the spot in the nucleus of the hypoglossal nerve. Upper trace, electrical activity; lower smooth trace, tongue movement. Arrow in the histologic section indicates the position of the recording electrode in the nucleus.

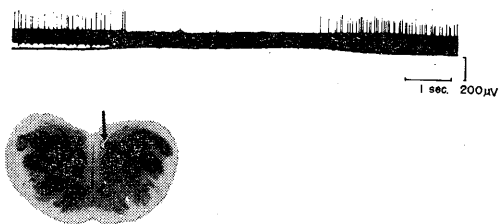


Fig. 8.

Inhibition at the spot in the nucleus of the hypoglossal nerve. Upper trace, electrical activity; lower smooth trace, tongue movement. Arrow in the histologic section indicates the position of the recording electrode in the nucleus.

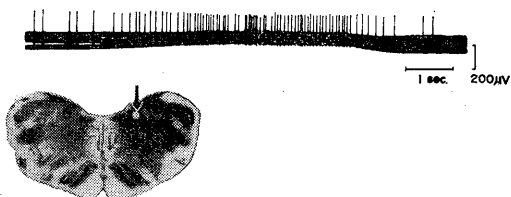


Fig. 9.

Facilitation at the spot in the dorsal nucleus of the vagal nerve. Upper trace, electrical activity; lower trace, tongue movement. Arrow in the histologic section indicates the position of the recording electrode in the nucleus.

された点が obex より 1.9 mm 吻側、正中より 0.7 mm 外側、延髄表面より 0.5 mm 腹側の舌下神経核部に1点 (図5白丸印) 存在した。この点の反応は図8に示したごとく、舌安静時にも 13 spikes/sec の自発性活動を示したが、舌伸張により放電頻度は減少し始め、荷重 100 g で舌を伸張した際、放電は完全に消失した。舌を安静位にもどす経過中に放電が再び出現し、次第に増加して、一過性に約 19 spikes/sec の放電を示したが、舌が伸張前の位置にもどると共に、放電頻度も伸張前の値にもどった。

孤束核部の47点についても、その大部分 (40点) は、舌伸張に対しては何ら反応を示さなかった。しかし、4点は舌伸張に回答し、持続的に放電頻度が増加した。obex より吻側 4.0 mm、正中線より外側 2.5 mm、延髄表面より 2.0 mm 腹側の孤束核部より得た記録では約 6 spikes/sec の自発性活動を示したが、50 g の荷重で舌を前方へ伸張することにより舌伸張中、約 13 spikes/sec に増加した。伸張をやめると、伸張前の放電頻度にもどった。また他の3点は舌伸張の初期のみ、一過性に放電を示した。

迷走神経背側核部の32点についても、前記諸核と同様に、その大部分 (30点) は、舌伸張には何ら反応しなかった。しかし2点は舌伸張により持続的に放電頻度が増加した。図9はobex より吻側に 3.0 mm、正中線より外側に 2.0 mm、延髄表面より腹側へ 0.5 mm の迷走神経背側核部の反応例である。約 3 spikes/sec の自発性活動は徐々に舌を前方へ伸張するに従がい、放電頻度が次第に増加し始め、100 g の強さで舌を伸張することにより、放電頻度は約 16 spikes/sec に増加した。舌伸張をやめると放電頻度は直ちに伸張前の状態にもどった。迷走神経背側核部には、舌伸張に対し一過性に放電する点は認められなかった。

延髄網様体部については検索した約 180 点のうち、その殆んどが自発性活動を示した。これら延髄網様体部の17点が舌伸張に対して回答し放電頻度が増加した。これら回答点は延髄網様体中主として中央部に認められた。

## IV. 考 察

1. 舌の deep mechanoreceptor からの信号を伝える求心性神経について

四肢筋のごとく関節を介し骨を動かしたり、あるいは関節を固定する筋と、舌筋のごとく関節とは無関係で軟組織を動かす筋とでは筋紡錘の構造、分布に相違があることが Cooper<sup>30)</sup> によって示唆された。また、Hosokawa<sup>31)</sup> は脳神経支配の横紋筋にはしばしば典型的な筋紡錘がなくむしろ非典型的あるいは原始的形態の終末しか見られず、しかもこれらの終末形態が動物によって異なること、脳神経は前根と後根に分かれていないため運動神経または知覚神経を別々に切断して実験することが困難であること、脳神経には脊髄神経に比較して自律神経が密に混在していること、脳神経は末梢において分枝、吻合が多く複雑で且つ動物差の大きいことなど強調している。しかも、脳神経支配の横紋筋は咀嚼筋を除いて、一般に自己受容性神経支配についての知見に乏しい。このように、舌筋は反射的に極めて巧妙に形を変え位置を変化させることの出来る特種な筋であるにかかわらずその運動、緊張調整に關与する自己受容性機構は今日までなお充分明らかになっていない。

猫について Corbin and Harrison<sup>25)</sup> は C<sub>1</sub> の前根枝から、Cooper<sup>26)</sup> および Blom<sup>24)</sup> は舌下神経から、また Barron<sup>27)</sup> は舌神経からそれぞれ舌伸張に対する反応を記録しえたこと報告した。故に、猫の舌から舌筋の伸張あるいは、緊張変化に応じて何らかの信号が中枢に送られていることは推察できる。しかし、猫の舌筋については、かつて Langworthy<sup>14)</sup> が筋紡錘の存在を報告したが、Sherrington<sup>16)</sup>、Yeeら<sup>32)</sup>、Cooper<sup>11)</sup>、Blom<sup>24)</sup> らはどれも筋紡錘を猫の舌筋に認めていない。ここに舌筋中のいかなる受容器が前記自己受容性信号を生じさせており、また、いかなる求心路を通してこれら信号が中枢に伝えられているかが問題である。舌筋中に筋紡錘もしくはこれに類似の受容器が存在するとすればこの求心路としては第1および第2頸髄神経、舌

下神経、舌神経、舌咽神経が考えられる。しかし、残念なことには、前記の Corbin and Harrison<sup>25)</sup>、Barron<sup>27)</sup> および Blom<sup>24)</sup> の報告は何れも舌伸張による神経活動を記録したという記載のみにとどまり、論文上で図を見ることが出来ないため著者らの本成績と比較考察することは出来ない。舌伸張に対する反応を舌下神経から記録した Cooper の報告<sup>26)</sup> に対して Fitzgerald and Law<sup>33)</sup> は舌下神経と舌神経は末梢部で互いに吻合している事実を明らかにし、Cooper の成績は舌下神経の末梢部から記録されたものであるから、これはむしろ舌下神経と舌神経の間に吻合のある事実を電気生理学的に示したものであると述べている。すなわち Cooper の成績は舌下神経ではなく舌神経線維から記録した可能性も否定することは出来ない。また得た記録は舌粘膜の受容器興奮によるものか、深部受容器に由来するものかが不明である。

本実験では舌神経につき反応を記録する際には鼓索神経の分岐部で、舌咽神経については舌骨の高さで、それぞれ切断しその末梢端より記録したので、吻合による他の神経線維からの反応を記録する危険性は充分避けることが出来た。また、既述のごとく、著者らの使用した動物は、頬部軟組織、下顎骨を切除してあるため、Corbin and Harrison<sup>25)</sup> が指摘したように舌伸張に際して舌表面が歯や口腔粘膜に接触するため生じる反応を誤まって記録する危険性もなかった。

舌伸張に反応した神経線維は、舌粘膜表面の機械的刺激には全く反応せず、しかも舌表面を xylocaine 噴霧により麻酔しても何ら影響されなかったことから deep mechanoreceptors からの信号を伝える線維であると言えよう。この deep mechanoreceptors の興奮は舌伸張の強さの対数に比例して放電頻度が増加したこと、舌筋収縮時には放電が消失したこと、放電頻度の順応が極めて遅いことなどから四肢筋に見られる筋紡錘の反応態度に<sup>34)</sup>極めて類似している。筋紡錘から出る IA 線維は一般に直径が 10-20  $\mu$  であることが知られているが<sup>35)</sup>、Blom<sup>24)</sup> は猫の舌

神経中に 10-15  $\mu$  の神経線維が約10%含まれており、舌咽神経中には 10-12  $\mu$  の線維が約 0.5% 含まれていることを報告している。本実験で舌伸張に反応した神経線維も舌神経および舌咽神経中でも数の少ない直径の大きい IA 線維であることが推察できる。なお、Pfaffmann<sup>36)</sup> は猫の舌中に見出される受容器は順応が速やかで一定の圧による舌の定常的変形には反応しなかったと述べているが、これは恐らく舌変形に反応する受容器の数が極めて少ないため記録されなかったものではないかと思われる。

## 2. 舌の deep mechanoreceptor からの信号の延髄投射について

咀嚼筋に存在する筋紡錘から中枢に信号を伝える求心路は三叉神経中脳路核に入っていることが知られている<sup>37)38)39)40)41)42)43)44)45)46)47)48)49)</sup>。また眼筋の筋紡錘からの求心性線維も同じく三叉神経中脳路核に入るものと考えられている<sup>43)46)50)51)52)53)54)55)56)57)58)59)</sup>。さらに、Szentágothai<sup>60)</sup> は三叉神経中脳路核細胞からの collateral が同側の舌下神経核まで下りていることを明らかにした。故に舌筋からの求心性神経線維が三叉神経中脳路核に入る可能性も当然考慮しなければならない。しかし、Corbin<sup>44)</sup> は三叉神経下行根の破壊により生じた神経線維の変性は三叉神経の篩骨神経、口蓋神経、上歯槽神経、翼突筋神経、側頭筋神経、咬筋神経、下歯槽神経には認められたがその他の神経すなわち外旋神経、舌神経、顔面神経、舌咽神経、迷走神経、副神経、舌下神経には全く認められなかったと述べている。故に、舌からの求心路が中脳路核に投射することは疑わしいので、本研究では三叉神経中脳路核は除外し、三叉神経脊髄路核、孤束核、舌下神経核等舌に関係する諸核が存在している obex レベルと obex から 4.0 mm 吻側のレベルとの間の延髄部位を選んで検索した。

本実験で得られた延髄部の応答点の電気活動はすべて細胞外から記録されたものであるが、negative monophasic または positive-negative diphasic の波形を示した。また、記録電極尖端

は組織学的検索によりいずれも上記諸核内に存在した。Tasaki ら<sup>61)</sup> は細胞外誘導の結果から negative monophasic または positive-negative diphasic の波形は電極尖端が神経細胞体の近くに位置するとき得られると述べている。以上のことから本実験で得た応答点の電気活動はおそらく神経線維ではなく神経細胞体の活動を示していると考えられる。

舌の deep mechanoreceptors からの信号は主として三叉神経脊髄路核、孤束核、迷走神経背側核、舌下神経核及び延髄網様体に投射することが明らかとなった。この点、舌の proprioceptors よりの信号は顎筋とは異なりむしろ Kawamura and Majima<sup>62)</sup> が猫について明らかにした顎関節囊に存在する proprioceptors よりの信号と類似した延髄投射を示すものと言えよう。

三叉神経脊髄路核、孤束核および迷走神経背側核にはそれぞれ舌粘膜の受容器からの神経線維が投射しているが、舌深部の受容器からの線維もまた同じ核内に投射していることが明らかになった。このことは同じ脳神経支配の咀嚼筋とは趣きを異にし、かえって脊髄神経支配の横紋筋の場合に類似している。舌下神経核には舌伸張により活動の促進する点と逆に抑制される点が認められた。活動促進点については Green and Negishi<sup>28)</sup> も自発性放電を示す舌下神経核細胞50ケ中2ケが舌伸張により放電頻度が増加したと述べており著者らの成績と類似している。Green and Negishi<sup>28)</sup> はこのような促進反応は舌筋の proprioceptors の興奮によるものではなく舌粘膜の触か痛覚受容器が刺激された結果であろうと述べている。しかし著者らは恐らく極めて数の少ない舌中の deep mechanoreceptors の興奮によるものであろうと考える。舌伸張により活動の抑制された点は舌下神経核中 obex より 1.9 mm 吻側、正中より 0.7 mm 外側、延髄表面より 0.5 mm 腹側の点であったが、これは舌下神経核の内腹側部に当り、頤舌筋支配の motoneuron の多い部分である<sup>22)</sup>。著者らは前報で頤舌筋から記録した運動単位放電が舌を伸張さすことによって抑制されることを

報告したが、恐らく本実験で得た舌下神経核中の前記抑制点は頤舌筋支配の motoneuron から記録されたものと考えられる。

以上本実験によって猫の舌筋についても自己受容性反射が存在し、この反射には少なくとも舌に存在する deep mechanoreceptor が関与すること、また求心性信号は図10に示したごとく舌神経、舌咽神経を介し中枢に伝えられるが、これに関与する神経線維は極めて少数であること、さらにこれら舌の自己受容性信号は三叉神経脊髄路核、孤束核、迷走神経背側核および延髄網様体部に投射し、その後これら信号は舌下神経核運動神経細胞に対して、促進、あるいは抑制的に働いていることなどが明らかにされたと言えよう。

## V. 総 括

1. 猫の舌神経および舌咽神経舌枝中には舌伸張に応じてインパルスを送る求心性線維が少数存在した。これらの神経線維は舌伸張度の対数に比例して放電頻度が増加し、その反応の順応は極めて遅いものであった。また、舌筋収縮時にはこの神経線維の活動は抑制された。

2. 舌伸張に対して応答し放電頻度を増加した点が三叉神経脊髄路核、孤束核、迷走神経背側核、延髄網様体および舌下神経核部にそれぞれ認められた。なお舌下神経核中には舌伸張により活動の抑制される点が存在した。

本論文の要旨は昭和40年2月第32回近畿生理学談話会（神戸大学医学部）で発表した。

This investigation was supported in whole by Public Health Service Research Grant DE-01718, from the National Institute of Dental Research, National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, U. S. A.

## 文 献

- 1) 河村洋二郎・船越正也・西山亨・真島利雄 (1965) 舌筋活動の筋電図学的研究 日本生理誌 **27**, 429-435
- 2) Pilliet, A. H. (1890) Sur le corpuscules neuromusculaires a gaines paciennes. J. de l'anat. **26**, 602-616, cited by Hosokawa (1961) Texas Reports on Biol. & Med. **19**, 405-464

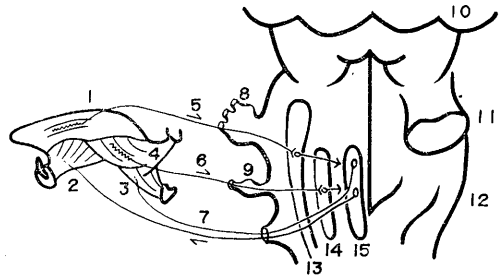


Fig. 10.

Schematic diagram of the proprioceptive innervation of the tongue.

- 1: Tongue, 2: Genioglossus muscle,
- 3: Hyoglossus muscle, 4: Styloglossus muscle,
- 5: Lingual nerve, 6: Glossopharyngeal nerve,
- 7: Hypoglossal nerve, 8: Semilunar ganglion,
- 9: Petrosal ganglion, 10: Midbrain,
- 11: Pons, 12: Medulla,
- 13: Sensory nucleus of trigeminal nerve,
- 14: Nucleus of tractus solitarius,
- 15: Nucleus of hypoglossal nerve.

- 3) Franqu , O. V. (1891) Beiträge zur Kenntnis der Muskelknospen. Vehr. phys-med. Ges. W rzb. **24**, 19-48, cited by Cooper (1953) J. Physiol. **120**, 471-490
- 4) Forster, L. (1894) Zur Kenntnis der Muskelspindeln. Virchow's Arch. **137**, 121-154, cited by Blom (1960) Acta Physiol. Scand. Suppl. **170**, 1-97
- 5) Gregor, A. (1904) Ueber die Vertheilung der Muskelspindeln in der Muskulatur des menschlichen Fötus. Arch. Anat. Entw. **112**-196
- 6) 清野謙次 (1911) 脚気症に於ける筋紡錘体の変化に就て 附) 筋紡錘体の生理学的意義に関する知見の増補 京都医誌 **8**, 138-166, 193-222
- 7) 波多野重与 (1925) 筋紡錘体の研究 東京医会誌 **39**, 433-521
- 8) St hr, P. jr. (1928) Das peripherische Nervensystem. M llendorf's Handbuch d. mikr. Anat. d. Menschen, 4 Bd., I. Teil. Berlin (p. 228)
- 9) Schaffer, J. (1933) Lehrbuch der Histologie und Histogenese. 3 Aufl., Berlin & Wien
- 10) 中山光雄 (1944) 人間舌筋に於ける筋紡錘の神経分布に関する顕微鏡的研究 東北医誌 **34**, 367-377
- 11) Cooper, S. (1953) Muscle spindles in the intrinsic muscles of the human tongue. J. Physiol. **122**, 193-202
- 12) Batten, F. E. (1897) The muscle spindle under pathological conditions. Brain, **20**, 138-179
- 13) Hewer, E. E. (1935) The development of nerve endings in human foetus. J. Anat. Lond. **69**, 369-

- 379
- 14) Langworthy, O. R. (1924) A study of the innervation of the tongue musculature with particular reference to the proprioceptive mechanism. *J. Comp. Neurol.* **36**, 273-297
  - 15) Tarkhan, A. A. (1936) Ein experimenteller Beitrag zur Kenntnis der proprioceptiven Innervation der Zunge. *Zschr. Anat. Entw.* **105**, 349-358
  - 16) Sherrington, C. S. (1894) On the anatomical constitution of nerves of skeletal muscles; with remarks on recurrent fibres in the ventral spinal root. *J. Physiol.* **17**, 211-258
  - 17) Baum, J. (1900) Beiträge zur Kenntnis der Muskelspindeln. *Anat. Hefte, I. Abt.*, **13**, 251-305, cited by Hosokawa (1961) *Texas Reports on Biol. & Med.* **19**, 405-464
  - 18) Carleton, A. (1938) Observations on the problem of the proprioceptive innervation of the tongue. *J. Anat. Lond.* **72**, 502-507
  - 19) Boyd, J. D. (1937) Proprioceptive innervation of mammalian tongue. *J. Anat. Lond.* **72**, 147-148
  - 20) Boyd, J. D. (1941) The sensory component of the hypoglossal nerve in the rabbit. *J. Anat. Lond.* **75**, 330-347
  - 21) Weddel, G., J. A. Harpman, D. G. Lambley and L. Young (1940) The innervation of the musculature of the tongue. *J. Anat. Lond.* **74**, 255-267
  - 22) Barnard, J. W. (1940) The hypoglossal complex of vertebrates. *J. Comp. Neurol.* **72**, 489-524
  - 23) Law, M. E. (1954) Lingual proprioception in pig, dog and cat. *Nature.* **174**, 1107-1108
  - 24) Blom, S. (1960) Afferent influences on tongue muscle activity; A morphological and physiological study in the cat. *Acta Physiol. Scand. Suppl.* **170**, 1-97
  - 25) Corbin, K. B. and F. Harrison (1938) Further studies on tongue innervation. *Proc. Soc. Exp. Biol. N. Y.* **38**, 308-310
  - 26) Cooper, S. (1954) Afferent impulses in the hypoglossal nerve on stretching the cat's tongue. *J. Physiol.* **126**, 32 p.
  - 27) Barron, D. H. (1936) A note on the course of the proprioceptor fibres from the tongue. *Anat. Rec.* **66**, 11-15
  - 28) Green, J. D. and K. Negishi (1963) Membrane potentials in hypoglossal motoneurons. *J. Neurophysiol.* **26**, 835-856
  - 29) Snider, R. S. and W. T. Niemer (1961) A stereotaxic atlas of the cat brain. The University of Chicago Press, Chicago
  - 30) Cooper, S. (1960) Muscle spindles and other muscle receptors; in "The Structure and Function of Muscle" edited by G. H. Bourne, Vol. I, 381-417, Academic Press N. Y.
  - 31) Hosokawa, H. (1961) Proprioceptive innervation of striated muscles in the territory of cranial nerves. *Texas Reports on Biol. & Med.* **19**, 405-464
  - 32) Yee, J., F. Harrison and K. B. Corbin (1939) The sensory innervation of the spinal accessory and tongue musculature in the rabbit. *J. Comp. Neurol.* **70**, 305-314
  - 33) Fitzgerald, M. J. T. and M. E. Law (1958) The peripheral connexions between the lingual and hypoglossal nerve. *J. Anat. Lond.* **92**, 178-188
  - 34) Matthews, B. H. C. (1933) Nerve endings in mammalian muscle. *J. Physiol.* **78**, 1-53
  - 35) Lloyd, D. P. C. and H. T. Chang (1948) Afferent fibres in muscle nerves. *J. Neurophysiol.* **11**, 199-207
  - 36) Pfaffmann, C. (1939) Afferent impulses from the teeth due to pressure and noxious stimulation. *J. Physiol.* **97**, 207-219
  - 37) Jonston, J. B. (1909) The radix mesencephalica trigemini. *J. Comp. Neurol.* **19**, 593-644
  - 38) May, O. and V. Horsley (1910) The mesencephalic root of the fifth nerve. *Brain*, **33**, 175-203
  - 39) Willems, E. (1911) Les noyaux masticateur et mésencéphalique du trijumeau chez la lapin. *Névraxe*, **12**, 1-220
  - 40) Kosaka, K. (1912) Zur Frage der physiologischen Natur der zerebralen Trigeminiwurzel. *Folia Neurobiol.* **6**, 1-16
  - 41) Allen, W. F. (1919) Application of the Marchi method to the study of the radix mesencephalica trigemini in the guineapig. *J. Comp. Neurol.* **30**, 169-216
  - 42) Thelander, H. E. (1924) The course and distribution of the radix mesencephalica trigemini in the cat. *J. Comp. Neurol.* **37**, 207-220
  - 43) Weinberg, E. (1928) The mesencephalic root of the fifth nerve. A comparative anatomical study. *J. Comp. Neurol.* **46**, 249-405
  - 44) Corbin, K. B. (1940) Observations on the peripheral distribution of fibers arising in the mesencephalic nucleus of the fifth cranial nerve. *J. Comp. Neurol.* **73**, 153-177
  - 45) Corbin, K. B. and F. Harrison (1940) Function of the mesencephalic root of the fifth cranial nerve. *J. Neurophysiol.* **3**, 423-435
  - 46) Cooper, S., P. M. Daniel and D. Whitteridge (1953) Nerve impulses in the brain stem of the goat. Short latency responses obtained by stretching the extrinsic eye muscles and the jaw muscles. *J. Physiol.* **120**, 471-490
  - 47) Kawamura, Y., M. Funakoshi, and S. Tsukamoto (1958) Brain-stem representation of jaw muscle activities of the dog. *Jap. J. Physiol.* **8**, 292-304

- 48) Kawamura, Y., M. Funakoshi, S. Tsukamoto and M. Takata (1959) Brain stem mechanisms controlling the jaw muscle-tonus of the dog. *Jap. J. Physiol.* **9**, 453-463
- 49) Kawamura, Y., M. Funakoshi and M. Takata (1960) Reciprocal relationships in the brain-stem among afferent impulses from each jaw muscle of the cat. *Jap. J. Physiol.* **10**, 585-593
- 50) Windle, W. F. (1932) The neurofibrillar structure of the 7-mm cat embryo. *J. Comp. Neurol.* **55**, 99-138
- 51) Tarkhan, A. A. (1934) The innervation of the extrinsic ocular muscles. *J. Anat. Lond.* **68**, 293-313
- 52) Pearson, A. A. (1943) The trochlear nerve in human fetuses. *J. Comp. Neurol.* **78**, 29-43
- 53) Pearson, A. A. (1944) The oculomotor nucleus in the human fetus. *J. Comp. Neurol.* **80**, 47-63
- 54) Freeman, W. (1925) The relationship of the radix mesencephalica trigemini to the extraocular muscles. *Arch. Neur. & Psychiat.* **14**, 111-113
- 55) Freeman, W. (1927) The columnar arrangement of the primary afferent centers in the brain-stem of man. *J. Nerv. & Ment. Dis.* **65**, 1-20, 149-170, 282-306, 378-397
- 56) Sheinin, J. J. (1933) Studies of the mesencephalic nucleus in the normal and experimental cat. *Anat. Rec.* **55**, 36 p. (abstract)
- 57) Woollard, H. H. (1931) The innervation of the ocular muscles. *J. Anat. Lond.* **65**, 215-223
- 58) Fillenz, M. (1955) Responses in the brainstem of the cat to stretch of extrinsic ocular muscles. *J. Physiol.* **128**, 182-199
- 59) Cooper, S., P. M. Daniel and D. Whitteridge (1955) Muscle spindles and other sensory endings in the extrinsic eye muscles: The physiology and anatomy of these receptors and of their connections with the brain-stem. *Brain*, **78**, 564-583
- 60) Szentágothai, J. (1948) Anatomical considerations of monosynaptic reflex arcs. *J. Neurophysiol.* **11**, 445-454
- 61) Tasaki, I., E. H. Polley and F. Orrego (1954) Action potentials from individual elements in cat geniculate and striate cortex. *J. Neurophysiol.* **17**, 454-474
- 62) Kawamura, Y. and T. Majimas (1964) Temporomandibular-joint's sensory mechanisms controlling activities of the jaw muscles. *J. dent. Res.* **43**, 150 p.

細胞内電位値の検討 612. 014. 423

I. 銀・塩化銀電極の単極電位差

II. 微小電極の液間起電力

谷 国 勝 美・藤 本 勝 喜・川 端 五 郎 \*

On the measurement of intracellular potential  
Part 1. Potential changes at the Ag-AgCl electrode  
Part 2. Liquid junction potential of microelectrode

TANIKUNI-Katsumi, FUJIMOTO-Katsuyoshi, KAWABATA-Gorou \*

1. The potential difference between the Ag-AgCl (silver-silver chloride) electrode or glass-capillary electrode (microelectrode) and some electrolyte solutions (test solutions: KCl, NaCl and Ringer solution) was measured with a valve-voltmeter (Du Bridge and Braun Circuit, using UX-54) according to the following schema.

Microelectrode | Test solution | KCl-agar | 3 M · KCl | HgCl · Hg  
(or Ag · AgCl)

2. The potential at the Ag-AgCl electrode keeps up with the Nernst's equation when the concentration of chloride ion in the test solution is changed. In an experiment to observe the potential of the cell membrane in changing an ionic composition of the physiological solution which is used to bath the excised tissue or cell, one must be careful not to immerse the Ag-AgCl electrode directly in the bathing solution.

3. That the liquid junction potential between the 3 M · KCl-solution and the test solution is negligibly small can be concluded theoretically from Henderson's and/or Planck's equation. When the outside diameter of the microelectrode is less than  $1 \mu$ , however, the potential at the microelectrode-tip can not be neglected.

4. In this experiment, it ranged 0-35 mV ( $N=130$ ) and its frequency distribution was not normal. The potential value of the microelectrode having a high electrical resistance was not always large.

5. An influence of the negative charge at the glass capillary-tip upon the ionic mobility in the 3 M · KCl solution would be a cause of the not negligible liquid junction potential above stated.

〔J. Physiol. Soc. Japan (1965) 27, 446-453〕

I. 銀・塩化銀電極の単極電位差

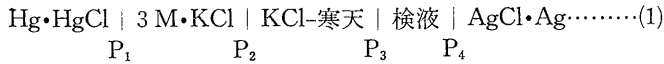
微小電極の先端を、摘出した組織の細胞内に挿入し、組織を浸している Ringer 液のイオン組成をかえて、膜電位の変化を検討する場合、微小電極の対極として銀・塩化銀電極が用いられることが多い。この際もし、Ringer液の組成の変化に伴って銀・塩化銀電極の電位が変動

するならば、その変動量を実測された変動から差し引いて、いわゆる膜電位の変動を検討しなければならない。文献には、銀・塩化銀電極の電位変動をなくするために、飽和 KCl・寒天橋が電気的連絡として使用されている。そこで、もし寒天橋を使わなければ、銀・塩化銀電極の電位変動がどの程度にみられるか。又寒天橋の使用により果たしてこの変動がなくなるか。はじめに、これらの疑問点について実験を行った。

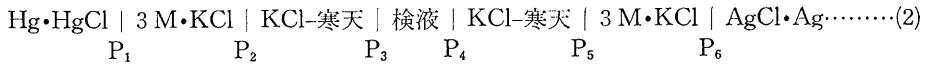
A. 実験方法

電位差測定のための電池は、次の模式のように組み立てた、

\* 山口大学医学部生理学教室第2講座  
Second Department of Physiology, Yamaguchi  
University School of Medical School.  
〔昭和40年6月28日受付〕



又は



縦線は起電力の発生が予想される境界で、以下の記述を簡単にするため P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> …の符号をつけた。寒天橋の KCl 濃度は 3 モルである。Hg・HgCl (甘汞電極) は堀場製作所の製品、ピンホール型とし、Ag・AgCl 電極 (銀・塩化銀電極。以下このように書く) は、銀線と白金線を両極とし、KCl 溶液を電解して作った。検液は Ringer 液のほか、KCl または NaCl 溶液とした。

電位差計は真空管方式であって、微小電流測定用真空管 (東芝, UX 54-A) と、高抵抗管 (東芝, 1 Q 20) と、反照型検流計 (島津, 感度 1.8 × 10<sup>-10</sup> A, 周期 7.8 秒) を使用して自作した単球平衡型 (Du Bridge & Broun 回路) のものである。入力 1 mV で最大 26 mm の輝点の振れが得られ、200 mV 以下で入力と輝点の振れは直線的に比例した<sup>1)</sup>。

B. 実験結果

前記の模式 (2) において、検液を 3 M・KCl とすると、P<sub>2</sub> と P<sub>3</sub> および P<sub>4</sub> と P<sub>5</sub> が相殺する。すなわち、この場合の電位差は P<sub>1</sub> と P<sub>6</sub> との起電力の差を与える筈である。この電位差は P<sub>1</sub> が一定とすれば、Ag・AgCl 電極の性状、殊に AgCl の電解によるつき方 (Cl<sup>-</sup> の活量) によって左右されるが<sup>2)</sup>、1 本の電極についてみるならば、変動しない筈である。実測上は、電池を組み立てて後、10-60 分の間ランプスケール上の輝点の位置は変化しなかった。そこで、この位置を電位差実測上の 0 点とした。一方電位差計の入力側を短絡した場合の輝点の位置を 0 点とすることも可能で、この実験では両者の差として 47 mV 前後の値が得られた。しかし、周知のように電位差の測定には、理論上の 0 点が必要である場合は少く、不変の基準点が求められれば充分である。そして、現在の目的には前者を基準点とする方が便利である。

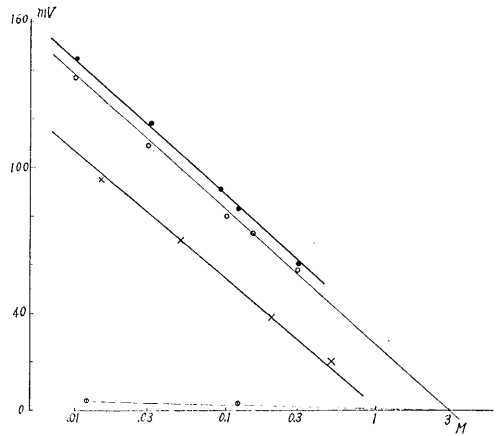


Fig. 1.

Ordinate : Potential value at the Ag-AgCl electrode in the test solution. Abscissa : Logarithm of Cl<sup>-</sup> concentration in that solution. ○ and ●, NaCl solution. ×, KCl diluted with 0.23 M sucrose solution.

The straight line was drawn by the least mean square method (Interrupted one was not. ① illustrated for a comparison of the results with another schema).

模式 (1) において、検液を NaCl 水溶液、KCl 水溶液または冷血用 Ringer 液とし、これらを水または 0.23 M 蔗糖液 (冷血用 Ringer と等張) で稀め、それぞれの検液中での Cl<sup>-</sup> 濃度の対数と測定した電位差との関係を示したものが第 1 図である。縦軸が電位差で、上記の実測上の 0 を基準として数値を与え、符号は Ag・AgCl 側の電位が高いとき正とした。図の直線は、ひとつの Ag・AgCl 電極についての測定値より最小 2 乗法により求めたもので、互に殆んど平行で、Cl<sup>-</sup> 濃度の 10 倍変化に対して 56 mV の傾斜である。なお、図には模式 (2) による測定値の例 (Ringer 液と、蔗糖液でこれを 10 倍稀釈したもの) を附記した。

図には記入されていないが、検液を K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 水溶液としたときは、稀釈度と電位差との間に特

定の関連は認められなかった。蒸留水または蔗糖だけの水溶液を検液としたときの模式 (2) による電位差は、 $\text{Cl}^-$  濃度 0.001 M の場合と殆んど同じであった。なお、 $\text{Ag}\cdot\text{AgCl}$  電極の代りに銀線だけを使用すると図のような直線は得られない。

### C. 考 察

前記の模式 (2) において、検液をこの実験に使ったもののいずれにしても  $P_3$  と  $P_4$  が相殺し、また  $P_2$  と  $P_6$  とが相殺するはずである。すなわち、測定されるものは  $P_1$  と  $P_6$  との代数和であって、実測上の 0 点に等しいはずである。実験において 0 以外の数値がでたのは、実験精度の限界を示すか、または、 $3\text{M}\cdot\text{KCl}$ -寒天が検液なり  $3\text{M}\cdot\text{KCl}$  水溶液との間に、寒天の持っている負荷電のために、条件によっては違った電位を持つものと思われる。検液を蒸留水としたとき、組みたてた電池の電氣的連絡は、ガラス器具から由来した僅少のアルカリイオンとか、大気中より溶けこんだ  $\text{HCO}_3^-$  とかが保つにしても、その内部抵抗は非常に大きい。すなわち、この場合の数値は測定可能な限界と考えてもよく、この実験で  $\text{Cl}^-$  濃度が 0.001 M のときの測定値が、蒸留水を検液としたときの値と近似していることから判断して、この濃度のときの実測値は、ほかの場合と同様に取り扱わない方がよい。したがって実験精度として 2 mV 前後の誤差を認めなければならない。また、検液と  $3\text{M}\cdot\text{KCl}$ -寒天との液間起電力は、両液の間で  $\text{K}^+$  と  $\text{Cl}^-$  の移動度に差があるとして、理論的には Henderson の式なり Planck の式より算出される。その詳細は後記するが、いまのところこの実験の成績を大きく左右する値ではなく、上記の誤差に含まれているものとする。

次に模式 (1) において、 $P_1$  を一定として検液を  $3\text{M}\cdot\text{KCl}$  とするならば  $P_2$  と  $P_3$  は相殺し、 $P_4$  は模式 (2) の  $P_6$  に等しいと考えることができる。すなわち、このときの電位差は実測上の 0 である。検液が  $3\text{M}\cdot\text{KCl}$  以外のとき、 $P_2$  の電位と  $P_3$  の電位との間に数値の差はあるに

しても 2 mV 以内とすれば、第 1 図の縦軸は  $P_4 \pm 2\text{mV}$  である。 $P_2$  と  $P_3$  は方向が反対であるが、絶対値に差がある場合どちらが大きいかは、2 mV を必然的偶然誤差と考えて問題にしない。換言すれば、第 1 図は  $\text{Ag}\cdot\text{AgCl}$  電極とこれの接する無機電解質溶液との間の電位 (単極電位差) が、溶液の  $\text{Cl}^-$  濃度によって直線的に変化し、 $\text{Cl}^-$  濃度の 10 倍変化に対して 56 mV 程度の傾斜であることを示している。この場合の電位の変動は、 $\text{Cl}^-$  に関する濃淡電池として、Nernst の式が成立すると思われるが、 $\text{Ag}\cdot\text{AgCl}$  電極の  $\text{Cl}^-$  活量を常に一定することは容易でない。第 1 図における、それぞれの直線が重ならないのはこのためであろう。実際問題として、静止電位の実験で、細胞 (組織) を浸している外液のイオン組成をかえる場合、不関電極としての  $\text{Ag}\cdot\text{AgCl}$  電極を、 $\text{KCl}$ -寒天を介せずに直接外液中に入れることは避けるべきである。たとえば、平滑筋組織で外液  $\text{KCl}$  濃度を増す場合、 $\text{Ag}\cdot\text{AgCl}$  電極の電位は減少する (positivity が減ずる)。他方の静止電位は、 $\text{Ag}\cdot\text{AgCl}$  電極の電位基準として負の値を持っているため、それ自体は不変であっても、実測上はその絶対値が小さくなり、脱分極と誤認される。しかもその減少度は  $\text{Cl}^-$  濃度の 10 倍変化に対して 56 mV 程度であり、多くの文献に報告された値に近似しており、 $\text{K}^+$  と  $\text{Cl}^-$  との濃度が等しいときには特に注意しなければならない。

### II. 微小電極の液間起電力

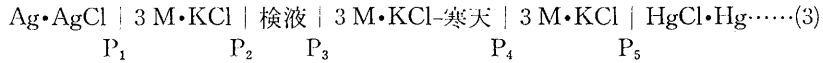
同一の電解質で濃度が異なる 2 つの溶液の液間起電力 (拡散電位ともいわれる。junction potential といってもよいが、神経・筋生理学で別の意味で使用されることもあるのでここでは結合電位といわない) は、後記の Nernst の式によって与えられる。しかし微小電極の尖端の外径が  $1\mu$  よりも小さくなると、計算値よりも遙かに大きい起電力が、微小電極内の  $\text{KCl}$  溶液と Ringer 液との間にみられる場合がしばしばある。これは尖端電位 (tip potential) と呼ばれて、われわれの教室でもその成績の一部を既

報<sup>3)</sup>したが、ここでは実験成績を追加し、理論的な検討を試みることにする。

D. 実験方法と実験結果

微小電極は、勝木式プレー(成茂科学器械研究

所) で作り、検鏡して尖端の外径  $1\mu$  以下のものに、アルコール置換法または直接  $3M \cdot KCl$  溶液中で減圧煮沸して  $KCl$  溶液をつめた。電池の組み立ての模式は、



符号の意味は、前の模式と同じで、 $P_2$ がここで問題にする起電力(尖端電位)である。 $Ag \cdot AgCl$  は微小電極内の  $KCl$  溶液につけたもので、太さは約  $0.2mm$  電位差の導出用である。検液には、 $0.001-3M \cdot KCl$  または  $NaCl$  溶液と冷血用 Ringer 液を用いた。電位差の測定法は、前記と同じであるが、膜電位の試験で普通行なわれる増巾器とオシログラフとを使用して測定したときもある。微小電極の抵抗は、発振器と微小電極用増巾器(日本光電 MZ-3B 型)により測定した。

第2図は電極抵抗(横軸)と尖端電位の値(縦軸)との関係を示したものである。一般に微小電極の尖端径が細くなるに従って、その抵抗値は増加する。しかし、抵抗の大きい電極が必ずしも大きい尖端電位を与えるとは限らない。Ringer液を検液としたときの尖端電位は、抵抗  $5M\Omega$  より  $60M\Omega$  までの電極130例について、 $0-35mV$  の間で0側に偏った分布をなし、いずれも電極内の  $KCl$  溶液側の電位が低い(アルコール置換法によって  $KCl$  溶液をつめた微小電極では電位が高いことがある。管内の  $KCl$  濃度が低いためと思われる)。

第3図は、1本の電極について検液の濃度をかえたときの尖端電位の変化を例示したものである。図の検液は  $NaCl$  水溶液で、濃度がうすくなるに従って、直線的でないが電位差が大きくなることを示している。曲線の解釈については後記する。

E. 尖端電位の考察

模式(3)において、検液を  $3M \cdot KCl$  とした場合  $P_3$  と  $P_4$  とが実験誤差の範囲内で相殺するとすれば、電位差は  $P_1$  と  $P_2$  と  $P_5$  との代数和である。したがって、 $P_1$  と  $P_5$  の代数和を

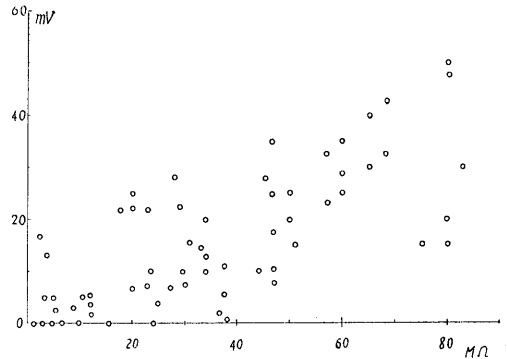


Fig. 2.

Relationship between the potential at the tip of microelectrode in Ringer solution (ordinate) and its electrical resistance (abscissa, in megohm). The tip-diameter of each electrode was less than 1 micron.

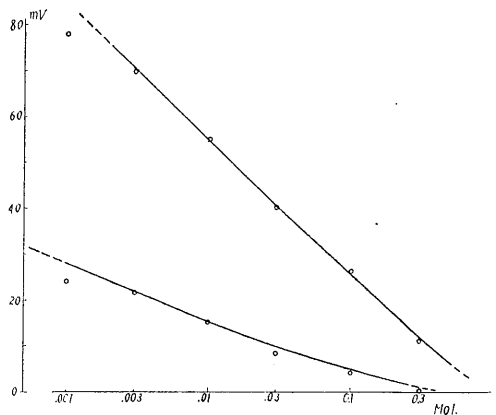


Fig. 3.

Two samples showing the liquid junction potentials at the tip of microelectrode in  $0.001-0.3M NaCl$  solution. The curves were drawn from Henderson's equation assuming the adequate ionic mobilities and concentrations. As for these assumptions, see in the text below.

知れば  $P_2$  を知ることができる。一見したところ、 $P_1+P_3$ は模式(2)における  $P_1+P_6$ に方向が反対であって数値は同じと思われる。しかし模式(3)における  $Ag \cdot AgCl$  電極と模式(2)のそれとは等しくないため、改めて電位測定のための基準を設けなければならない。尖端径が  $1\mu$ 以上の電極は尖端電位( $P_2$ )が僅少であるが、もし別のガラス毛細管を導出用の  $Ag \cdot AgCl$ にくっつけると、 $P_1$ の値が変化することも考えなければならない。そこで今の場合、電位差測定のための0点は、おのおのの電極について、実験の終了後、模式(3)における検液を  $3M \cdot KCl$ とし、この溶液内で電極の尖端を人為的に折って太くした場合( $P_2=0$ )の輝点の位置とする。第2図あるいは第3図の電位差は、この零点と電極尖端を折る前の輝点の位置とから算出した値である。

一般に電解質溶液の液間起電力( $E$ )は、2つの溶液の濃度差とイオンの移動度の差によって定まる。同じ種類の電解質で濃度に差があるときは Nernst により、

$$E = \frac{RT}{nF} \cdot \frac{u-v}{u+v} \ln \frac{C_1}{C_2} \dots \dots (4)$$

ここに  $C_1$  と  $C_2$  は両液 (I と II) の活量、

$$E = \frac{RT}{nF} \cdot \frac{(C_1u_1 - C_1v_1) - (C_2u_2 - C_2v_2)}{(C_1u_1 + C_1v_1) - (C_2u_2 + C_2v_2)} \ln \frac{C_1(u_1 + v_1)}{C_2(u_2 + v_2)} \dots \dots (6)$$

ただし、 $C_1$ と  $C_2$  は I 液と II 液の活度、 $u_1$ と  $v_1$  は I 液中での、 $u_2$ と  $v_2$  とは II 液中での陽イオンと陰イオンの移動度である。 $E$ の符号(正負)は I 液を基準として、II 液側の電位により与えられる。I 液を  $3M \cdot KCl$  とし、II 液を  $0.1M \cdot NaCl$  (冷血用 Ringer 液とほぼ等張) とすると、 $n=1$ ,  $C_1=3.0$ ,  $C_2=0.1$ ,  $u_1=v_1=v_2=65$ ,

$u$  と  $v$  は、それぞれ陽イオンと陰イオンの移動度、 $n$  はイオン価、 $T$  は絶対温度、 $R$  と  $F$  は恒数 ( $8.3144 \times 10^7$  と  $96500$ , dimension 略) である。

$E$  の符号(正負)は、第 I 液を基準(0)とし第 II 液側の電位により与えられる。

溶液が  $KCl$  であるときは  $n=1$  で、 $18^\circ C$  のときは

$$E (mV) = 58 \cdot \frac{u-v}{u+v} \log \frac{C_1}{C_2} \dots \dots (5)$$

ここで  $u$  と  $v$  は  $K^+$  と  $Cl^-$  の移動度で、 $u=64.6$   $v=65.16$  (理化学辞典による。以下同じ)

$$\therefore C_1=3.0 \quad C_2=0.001 \quad \text{ならば} \quad E=-0.85$$

$$C_1=3.0 \quad 0.001 < C_2 < 3.0 \quad \text{ならば}$$

$$-0.85 < E < 0$$

すなわち、イオン活量が濃度に等しいと仮定するならば、液間起電力として模式(2)における  $P_2$  は、この実験の範囲内ではたかだか  $0.85mV$  で、濃度の異なる側の電位が高い (positive)。

また、互に相接する電解質溶液で、電解質の種類が同じでない場合は、Henderson の式または Planck の式で液間起電力が与えられている。まず、Henderson の式についてこれを見ると、両液を  $n$  価の二元電解質として、

$u_2 = 43.5$  で、これらを(6)式に代入して  $E=+0.5 (mV)$  を得る。すなわち  $3M \cdot KCl$  溶液側が約  $0.5 mV$  電位が低いことになる。

念のため Planck の式についてみると、

$$E = \frac{RT}{nF} \ln \xi \dots \dots (7)$$

ただし  $\xi$  は次の式より求める。

$$\frac{\xi C_2 u_2 - C_1 u_1}{C_2 v_2 - \xi C_1 v_1} = \frac{\log\left(\frac{C_2}{C_1}\right) - \log \xi}{\log\left(\frac{C_2}{C_1}\right) + \log \xi} \cdot \frac{\xi C_2 - C_1}{C_2 - \xi C_1} \dots \dots (8)$$

これらの式における符号の意味は (6) 式と同じである。そこで、3 M・KCl と 0.1 M・NaCl との場合、前と同様それぞれの数値を (8) 式に代入し、 $\xi \equiv y$ ,  $\log \xi \equiv x$  とおくと ( $y > 0$ )

$$\frac{0.67 y - 30}{1 - 30 y} = \frac{(\log 30 + x)}{(\log 30 - x)} \times \frac{y - 30}{1 - 30 y}$$

$1 - 30 y \neq 0$  として

$$(0.67 y - 30)(\log 30 - x) = (\log 30 + x)(y - 30) \dots\dots\dots(9)$$

式 (9) は  $x$  と  $y$  についての 2 次式であって、片対数目盛の方眼紙に図解すると第 4 図の曲線が得られる。

第 4 図の直線 ( $\log y = x$ ) と曲線との交点は、いま求めている解を与えるもので、 $x (\equiv \log \xi)$  の値として 0.009 を得る。これを (7) 式に代入し、 $n = 1$  として計算すると  $E \approx +0.52$  (mV, 18°C)。すなわち、3 M・KCl 側の電位が約 0.5 mV だけ低い (negative) こととなり、Henderson の式による計算値と全く一致する (9 式はまた、 $y = 30$ ,  $x = \log 30$  にも解をもつが、このときは 8 式が意味をもたなくなるため、考慮する必要はなからう)。

要するに、3 M・KCl 溶液と 0.1 M・NaCl 溶液との液間起電力は、理論的には 0.5 mV 程度であって、第 2 図にみられるような大きな値を検討するには、特別の条件を考えなければならない。もちろん (6) 式にしても (7) 式にしても、イオンの活量が濃度に等しいと仮定し両液が明瞭な界面をなして接触するとの前提の下に導びかれたものである。吉村<sup>4)</sup>によれば、実際問題としてこのような明瞭な界面は作ることができず、実験は一定の誤差範囲において理論と一致し、一般的な拡散電位式は解くことができないという。しかし、飽和 KCl 溶液と HCl 溶液 (0.1-1.0 M) との液間起電力は、これを 0 とすることは異論があるが、極めて小さい値であることは確実で、HCl 以外の稀薄溶液に対しても同様なことが成立することであろうとも述べられている。これは KCl 溶液の濃度が高いため、液間起電力は主として KCl 溶液の拡散に

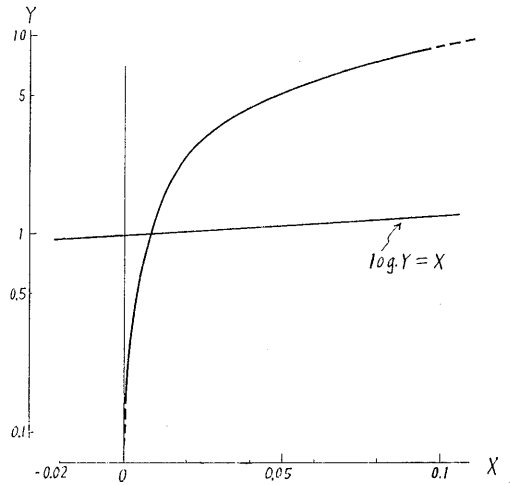


Fig. 4.

Graphic method for calculating the liquid junction potential from Planck's equation. The hyperbolic curve corresponds to a part of equation (9) in the text. The intersecting point with the straight line ( $\log y = x$ ) gives a value for the calculation.

よって定まり、しかも  $K^+$  と  $Cl^-$  との移動度が近似しているため飽和 KCl 溶液による起電力は殆んどなく、他方の溶液によるものは全体としての起電力に殆んど関与しないと説明されている。このような記載から判断すると、われわれの場合、微小電極の先端にみられた電位差について、イオン活量の問題とともに、電極の先端部における  $K^+$  と  $Cl^-$  との移動度が果して殆んど等しいかどうかを考える必要があらう。

一般に、ガラス管は負の荷電を持つといわれる。ガラス毛细管の内径が太い場合には、この荷電は管内の電解質溶液中のイオン移動度に影響しないが、微小電極のように先端径が極めて小さい場合には、影響を無視できないと思われる。いま仮に、微小電極の先端で、ガラス管の負荷電のために、管内の 3 M・KCl 溶液中の  $Cl^-$  の移動度が半減し、 $K^+$  のそれは影響を受けないものとする。検液の NaCl についても、両液が continuous mixing boundary を作るにしても、diffusing boundary を作るにしても、先端部での影響は同様であらう。すなわち、(6)

式において

$$u_1 = 65, \quad v_1 = \frac{1}{2} \times 65,$$

$$u_2 = 43.5, \quad v_2 = \frac{1}{2} \times 65$$

$$C_1 = 3.0, \quad C_2 = 0.1 \text{ とすれば}$$

$$E = +30.95 \text{ (mV)}$$

となるが、ここでの移動度の減少の程度は全くの仮想である。そこで再び (6) 式についてみると、 $C_1$  を一定として  $C_2$  をかえる場合、もし  $v_1$  の減少度にある数値を与えるとすれば、 $C_2$  が  $C_1$  に比し極めて小さいときには、起電力と  $\log C_2$  の間に近似的に直線関係が成立することが知られる。また、この直線の傾斜より上記  $v_1$  の減少度が算出できる。第 3 図の実測例について、濃度が 0.001 のときは前記のように測定精度に疑問があるためこれを除き、0.003 と 0.01 との測定値について処理すると、陰イオン移動度の減少は、上の例では元の値の 31%、下の例では同じく 61% と算出された。しかしこれらの値を (6) 式に代入し ( $K^+$  と  $Cl^-$  の移動度を近似的に等しいとして、 $v_1 = v_2 = 0.31 u_1$  又は  $0.61 u_1$ )、 $C_1 = 3.0$  として計算すると、得られた  $E$  と  $C_2$  との関係は、実測値と一致しない。これは濃度をそのままイオン活量と考えているためで、実際はそうでなく  $C_1$  の値として 3.0 以下の値を与えねばならない。このイオン活量は今のところ、われわれは知ることができないが、仮に成書より引用して 3 M・KCl 溶液のイオン活量として 0.57 を与えて計算しても、実測値との一致は得られない。第 3 図の曲線は、試行錯誤の方法、または実測値よりの逆計算によって  $C_1$  の値として上のものは 0.46、下のものは 0.08 を与えたものであるが、これらはそのままイオン活量と考えることはできない。何となれば、イオン活量はガラス管の荷電の大小によって影響されるであろうし、また微小電極に 3 M・KCl をつめるとき、尖端部における濃度は 3 モル以下であることが容易に予想されるからである。

要するに模式 (3) において、検液を Ringer 液または 0.1 M・NaCl 溶液とした場合、ガラス

毛細管の尖端径が太いときには、 $P_2$  と  $P_3$  とが相殺するために  $P_2$  だけを別に実測する事はできないが、その値は僅少であってこれを無視しても差支えないであろう。従って、第 2 図に示された電位差は、ガラス毛細管の尖端が細いためにあらわれた尖端部での液間起電力 (尖端電位) であって、その原因は、ガラス管の負荷電に影響されて管内 KCl 溶液中での  $Cl^-$  の移動度が減少することのほか、今は知ることができないイオン活量はその値を大きく左右するものと思われる。図にみられる数値のバラツキは、おのおのの電極によって、ガラス管の負荷電の影響の程度に差があり、また尖端部でのイオン活量も必ずしも一定でないことに由来するのである。細胞内電位の値を検討する場合、細胞外と細胞内とで尖端電位の値が変わらなければ問題ないが、もし変わるとすれば、変化分に対して補正を考えなければならない<sup>5)6)</sup>。細胞外の値は、本実験のように、おのおのの電極を人為的に折らなくとも適当に電池を組み立てることによって見当をつけることができる。ただしこの場合、高濃度の KCl 溶液と Ringer 液などの液間起電力を無視しないと見当がつかないことに注意すべきである。一方細胞内での値は、本実験からでは全く見当がつかず、これについては改めて考察する必要がある (次報<sup>7)</sup>)。

#### F. 要約

1. 細胞内電位の測定にあたって、細胞 (組織) を浸している外液のイオン組成をかえる場合、微小電極の対極として銀・塩化銀電極を使用し後者を直接外液中に浸すと、この部の単極電位差が外液のイオン組成の変化に伴って変動する。飽和 KCl-寒天橋などを介して外液に連絡すると、変動は僅少である。

2. 微小電極内の KCl 溶液 (3 M) と外液との液間起電力 (拡散電位) は、ガラス毛細管の尖端径が太いときには、理論的に 1 mV 以下である。尖端径が  $1 \mu$  以下のときは、ガラス管の負荷電にもとづいて管内の KCl 溶液中の  $Cl^-$  の移動度が尖端部で減少するものと思われ、無視できない程の液間起電力がみられる場合があ

る。この実験においてみられたものは、微小電極 130 本について 0-35 mV で、0 側に偏った分布をする。微小電極側の電位が低い (negative) のが普通で、高いものはガラス管内の KCl 濃度がうすいときであろう。なお、電気抵抗の高い微小電極が必ずしも大きい起電力をだすとは限らない。

#### 文 献

- 1) 沖充 (1960) ふらすこ藻の細胞内電位について 山口医学 **9**, 760
- 2) Keynes, R. D. (1963) Chloride in the squid giant axon. *J. Physiol.* **169**, 690
- 3) Kawasaki, M. and M. Oki (1961) Tip potential of the microelectrode and the intracellular potential of *Nitella flexilis*. *Bull. Yamaguchi Med. School* **8**, 329
- 4) 吉村寿人 (1942) pH の理論と測定法 東京・丸善再版 464
- 5) Adrian, R. H. (1956) The effect of internal and external potassium concentration on the membrane potential of frog muscle. *J. Physiol.* **133**, 631
- 6) Kűchler, G. (1964) Zur Frage der Übertragungseigenschaften von Glasmikroelectroden bei der intracellulären Membranpotentialmessung. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* **280**, 210
- 7) 谷国勝美・藤本勝喜・川端五郎 (1965) 細胞内電位値の検討 III. 蛋白溶液の液間起電力 日本生理誌 **27**, 454-462

## 細胞内電位値の検討 612. 014. 423

### Ⅲ. 蛋白溶液の液間起電力

谷 国 勝 美・藤 本 勝 喜・川 端 五 郎 \*

On the measurement of intracellular potential

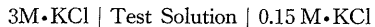
Part 3. Liquid junction potential of the protein solution

TANIKUNI-Katsumi, FUJIMOTO-Katsuyoshi, KAWABATA-Gorou \*

1. The liquid junction potential between the 3 or 0.15 M (molar) KCl solution and some test solution was measured with valve-voltmeter and an applicability of Planck's equation was discussed. As the test solution, 0.15 M·KCl-or NaCl solution containing isethionic acid (sodium salt) or bovine-albumine (ca. 7%, pH 7) was used mainly.

2. Assuming that an ionic activity in the test solution is the same as in the simple electrolyte solution not containing the protein and that an ionic mobility is decreased in the former, the potential can be calculated from Planck's equation. Its value is determined by the decreasing grade of mobility and ranges from 0 to 2.6 mV in the case of 3 M·KCl solution and, from 0 to 17.4 mV in 0.15 M·KCl. The potential at the test solution is lower, negative, in both cases.

3. The presently measured potential can be represented by the following schema :



When the test solution was 0.15 M·KCl solution containing the albumine, the potential at the right side of the schema was higher, positive, by 1.2-1.7 mV. And, when 0.15 M·NaCl, it was negative by 1.9-2.1 mV. If it was assumed that the mobility of anion decreased by 10% in the test solution and that the mobility of cation was not changed, the calculated potential was compatible with the measured one.

4. It seemed likely that the absolute value of the potential was decreased when the pH of the test solution was lowered and that the small change in the concentration of the dissolved protein did not affect the present potential. The assumption that the negative charge of the protein is the cause to decrease the ionic mobility would be reasonable.

[J. Physiol. Soc. Japan (1965) 27, 454-462]

#### A. 序文 (文献的考察)

神経や筋の細胞内にガラス毛細管電極を入れて、その細胞内電位を測定する場合、毛細管内のKCl溶液と細胞内液との間に液間起電力(拡散電位)が発生する。この起電力に対して、細胞内液中の蛋白が影響を与えることは容易に推定されるが、その程度を定量的に知ることは困難である。

蛋白あるいは糖質を含む塩類溶液と KCl 溶液との液間起電力についての文献をみるに、Cole & Curtis (1942) はイカの巨大神経の

axoplasm (軸索内液) と毛細管内の 0.6 M·KCl 溶液との液間起電力は 6.5 mV で、後者の電位が高い (positive) と報告している<sup>1)</sup>。この値は実測されたものでなく、内液中の陽イオンは  $K^+$  (279 mM) とし、陰イオンのうち  $Cl^-$  の濃度は Bear & Schmidt<sup>2)</sup> の成績を引用して 109 mM, 25% とし、残りの 75% は 1 価と仮定して、測定された電気伝導度よりその活量を求め {伝導度 =  $F \cdot \gamma (n_+ u + n_- v)$ ,  $n$  はイオン価,  $u, v$  は移動度,  $\gamma$  は活量,  $F$  は常数}, Henderson の式 (後記) より算出されたものである。しかし細胞内には  $K^+$  以外の陽イオンもあり、 $Cl^-$  以外の陰イオンを 1 価と仮定することは無理である。したがって伝導度から算出された陰イオンの移動度なり活量が、この際妥当であるかどうかは疑問であって、彼等自身もこの推定法は不確実で

\* 山口大学医学部生理学教室第 2 講座  
Second Department of Physiology Yamaguchi  
University Medical School.

[昭和40年6月28日受付]

あると記載している。その後Coleら(1960)は、イカの巨大神経の静止膜電位を一定とし、毛細管内につめる KCl 溶液の濃度をかえて、実測された膜電位の値の差から、それぞれの濃度の KCl 溶液と軸索内液との液間起電力を求めている。同時に KCl 溶液中と内液中での陽イオンと陰イオンのコンダクタンスを用いて、Henderson の式より液間起電力を算出し、これと実測値が一致すると報告している。このとき 3 M・KCl 溶液との液間起電力は約 4 mV で、前者の電位が高いという<sup>3)</sup>。しかし軸索内液中でのイオンのコンダクタンスを測定する方法は理解し難く、実測値と計算値との一致は、毛細管内の KCl 濃度が稀い方では明示されているが、濃度の高い方での検討は不充分のようである。

Hodgkin & Huxley(1945)による算出法は<sup>4)</sup>、Webb & Young<sup>5)</sup>または Steinbach & Spiegelmann<sup>6)</sup>の成績より、軸索内液中の Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>および Cl<sup>-</sup>の濃度をそれぞれ44, 369, 36 (mM/l H<sub>2</sub>O)とし、Cl<sup>-</sup>以外の陰イオンの移動度は0とし、海水中と内液中におけるイオンの移動度および活量は等しいと仮定して、Henderson の式より液間起電力を求めるものである。報告された値は 14.5 mV であって、内液に対して毛細管内の 0.6 M・KCl 側の電位が高い。この値はその後の Hodgkin らの論文<sup>7,8)</sup>に引用されて静止電位値の補正がなされているが、内液中にある蛋白の有する負荷電を考えると、この中でイオン移動度を水溶液中のそれに等しいと仮定することに疑義があり、内液の Cl<sup>-</sup>濃度も現在では訂正されている。また Wilde<sup>9)</sup>は、溶液中に蛋白が存在する場合 K<sup>+</sup>の活量は55%に減少すると報告している。

以上の文献は、いずれも液間起電力を算出したものであるが、Hodgkin & Katz は<sup>10)</sup>海水-寒天とデキストローゼを含む海水との液間起電力を実測して +6.0~+2.6 mV (混合比による差。符号は海水-寒天が基準)の値を報告している。また最近 Baker, Hodgkin ら<sup>11,12)</sup>は人工海水、1.05 M・K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、蔗糖と塩類の混合液など

について、0.6 M・KCl 溶液との液間起電力について、それぞれ-4 mV, +7 mV, +2~+7 mV (符号は 0.6 M・KCl が基準)などの実測値を報告している。これらの実測に際しては、いずれも 3 M・KCl 溶液が他液との間にもっている液間起電力を無視するのであるが、これには "theoretical uncertainty" があると Hodgkin 自身が記述している。また彼等の使用した微小電極がガラスの負荷電に基因する尖端電位(前報<sup>13)</sup>参照)をもたないにしても、寒天の有する負荷電の影響を考えると、上記の数値が恒常的なものであるかどうかとも検討する余地がある。さらに Loewenstin & Kanno<sup>14)</sup>は、シヨウジョウバエ幼虫の唾液腺細胞で、3 M・KCl をつめた微小電極と Shen 氏液、細胞内液および核内液との液間起電力は、実測上すべて等しいことを報告している。

本報文では、3 M・KCl 溶液が他液との間にもつ液間起電力は、どの位の程度であるかを検討し、さらに 0.15 M・KCl 溶液(温血用Ringer液とほぼ等張)とアルブミンまたはイセチオン酸ソーダを含む KCl または NaCl 溶液との液間起電力について考察した。

## B. 実験方法と実験結果

電池の組み方は第1図のようで、両端の甘汞電極を真空管電位差計の入力側に連結した。電位差計は東芝・UX-54 A と反照検流計を使用した単球平衡型で、詳細は既報<sup>15)</sup>した。液の間の電氣的連絡は、寒天のもっている負の荷電が実験結果に不測の影響を与えることを避けるため、ガラスの三方管と三方活栓を利用して KCl 溶液だけでおこない、寒天橋は使用しなかった。またガラス毛細管の尖端径を 1 μ 以下にすると、管内と管外の KCl 濃度が同じであっても電位差が出ることが多い<sup>13)</sup>。したがってこの実験では KCl の急速な拡散をさけるため、ある程度は細くしたが 0.1 mm 以下のものは使用しなかった。蛋白は、主として市販の凍結乾燥した牛のアルブミンを用い、これを所定濃度の KCl 溶液または NaCl 溶液に溶かして 7% (重

量) とした. そのほか, 市販の乾燥人血漿を溶かしたものを, 蔗糖と KCl との混合溶液, イセチオン酸ソーダ塩 ( $\text{CH}_2\text{OH}\cdot\text{CH}_2\text{SO}_3\text{-Na}$ ) 溶液などを使用した. 蛋白を含む溶液の pH は 0.15 モルの塩酸または苛性ソーダで調整した濃度はすべて Mol/l  $\text{H}_2\text{O}$  で示した.

第 1 図における検液を 0.15 M・KCl 溶液とした場合の測定値を基準として, それぞれの検液について電位差を求めた結果は次表のとおりである. 一つの検液についての実験回数は 6-12 回であるが, おおのこの実験結果は 1 mV の範囲

内において比較的恒常な値を与えたため, 例数を増す必要は認めなかった. 表の計算値は溶液中のイオン活量およびイオン移動度について, 適切と思われる仮定(次項)を設け, Henderson の式より検液と 3 M・KCl および 0.15 M・KCl 溶液との液間起電力を求め, 両者の差を示したものである. 起電力の符号は, 0.15 M・KCl 側が 3 M・KCl 溶液側に対して電位が低い (negative) ときは負, 高い (positive) ときは正である.

表には記入していないが, 牛のアルブミンを含む 0.15 M・KCl または NaCl 溶液の pH を 5.4-6.3 とした場合, 起電力の絶対値は常に小さくなった. 起電力の方向が逆になることはなかったが, 減少した値は極めて小さく, pH との間に定量的な関係を求めることはできなかった. なお上記の pH の値は, 各検液の間の差であって一つの検液について変動せしめた範囲ではない.

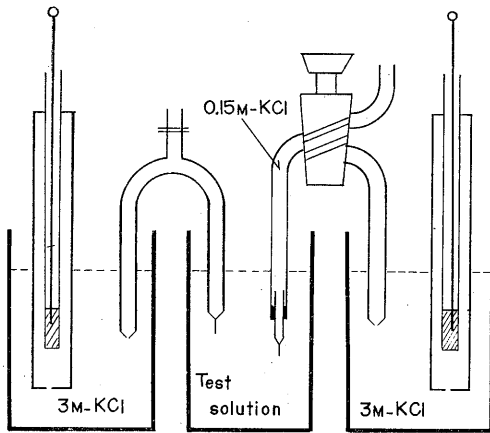


Fig. 1.

Simplified diagram of recording arrangement :

$\text{Hg}\cdot\text{HgCl} \mid 3\text{M}\cdot\text{KCl} \mid \text{Test solution} \mid 0.15\text{M}\cdot\text{KCl} \mid 3\text{M}\cdot\text{KCl} \mid \text{HgCl}\cdot\text{Hg}$   
Because of a negative charge, agar is not used in the bridge.

Electro-motive force with some test solutions  
(3 M・KCl || Test Solution || 0.15 M・KCl)

Group	Test Solution	E. M. F. (mV)	
		Measured	Calculated*
1	1.5 mM・HCl	1.1~ 2.1	1.9
	15 mM・HCl	2.3~ 4.0	8.3
	0.15 M・NaCl	●-0.9~-1.8	-3.7
2	$\text{CH}_2\text{OH}\cdot\text{CH}_2\text{SO}_3\text{Na}$ (0.15 M)	2.3~ 3.2	10.3
	$\text{CH}_2\text{OH}\cdot\text{CH}_2\text{SO}_3\text{Na}$ (0.1 M in 0.05 M・KCl)	1.3~ 2.3	6.1
	$\text{CH}_2\text{OH}\cdot\text{CH}_2\text{SO}_3\text{Na}$ (0.01 M in 5 mM・KCl)	0~ 0.5	1.8
3**	0.15 M・KCl with Albumine	1.2~ 1.7	1.3
	0.15 M・NaCl with Albumine	-1.9~-2.1	-2.5
	Human Plasma	±0.5	—

\* From Henderson's liquid junction equation, with some assumptions.

\*\* Concentration of protein, 7% ; pH, 6.5~7.5.

● The negative sign shows the negativity of 0.15 M・KCl, opposite to 3 M・KCl solution.

### C. 考 察

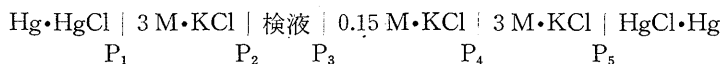
#### 1. 検液が 0.15 M・KCl のと

きの電位差

使用した甘汞電極の内液を 3 M・KCl とし

(3 Mでなくとも以下の考え方はかわらないが)

第1図を模式的にかくと：



ここで縦線は起電力が発生すると予想される界面を示し、以下の記述を簡単にするため、それぞれに符号をつけた。

さて、検液を 0.15 M・KCl とすると、符号の  $P_3$  においては起電力は発生しない。 $P_2$  と  $P_4$  とは、いずれも 0.15 M・KCl と 3 M・KCl との液間起電力で、方向が反対であるため相殺される。 $P_1$  と  $P_5$  は、甘汞電極と 3 M・KCl との間に発生する起電力であって、方向が反対である。したがって、もし両端に使用した甘汞電極が全く等しい性質のものであって、3 M・KCl 溶液との間に等しい単極電位差を持つならば、電池の起電力は理論的に 0 である。しかし、実際問題として全く同じ性質の甘汞電極を得ることができないため、 $P_1$  と  $P_5$  との値は等しくない。すなわち、検液を 0.15 M・KCl 溶液とした場合ランプスケール上で読まれた位置は、理論上の 0 点を与えない。しかし周知のように電位差の実測にあたっては、理論上の 0 点を必要とすることは稀で、基準とする一定の電位差があれば充分である。この実験においては、検液を 0.15 M・KCl 溶液とした場合の起電力と、二つの甘汞電極の接している 3 M・KCl 溶液はそのままとし、検液を 0.15 M・KCl 以外のものとした場合の起電力との差を求めるならば、 $P_1$  と  $P_5$  との差は一定であるため消去される。そして、このとき差し引きして求められた起電力は、模式の  $P_2$ 、 $P_3$  および  $P_4$  の代数和である。なお、電池の起電力がないとき、すなわち理論上の 0 点はランプスケール上では電位差計の入力側を短絡したときの輝点の位置として求めることは可能である。

## 2. 液間起電力の実測値と計算値

前記の模式における  $P_4$  は、濃度の異なる KCl 溶液相互の液間起電力であるから Nernst の式によって計算することができる。 $K^+$  の移動度

を 64.6 とし  $Cl^-$  のものを 65.15 ( $cm^2/ohm$ , 理化学辞典による) とし、また濃度と活量が等しいとして計算すると、0.15 M・KCl と 3 M・KCl 溶液とでは 0.32 mV だけ後側側の電位が高いことになる。しかし濃度とイオン活量と稀薄溶液においてのみ近似値に等しく、また次からの計算では  $K^+$  と  $Cl^-$  の移動度を等しいと考えているため、この起電力は無視するのが適当である。したがって、前表の計算値にはこの起電力は含まれていない。

模式の  $P_2$  と  $P_3$  とは、いずれも単極電位差であるためこれを別々に実測することはできない。この実験では、Henderson の式より  $P_2$  と  $P_3$  とを算出し、両者の代数和と実測値との異同を検討したのであるが、前表にみるとおり符号の正負はすべてのものが一致するが、電位差の値は必ずしも一致しない。

まず表の第 1 群では、吉村の著書<sup>16)</sup>にある比較的詳しい記述を参照して、検液を HCl とし方法の検討を行ない、NaCl 溶液について予備実験をしたものである。1.5 mM・HCl 溶液については、計算値と実測値が一致しているが、15 mM・HCl および 0.15 M・NaCl については両者は一致していない。ここで留意すべきことは、濃度とイオン活量の異同および両液の接する界面の状態である。周知のとおり Henderson の式は "continuous mixing boundary" を条件として導かれたものであって、その計算にはイオン移動度とイオン活量を知る必要がある。この界面条件は、われわれの実験においては、溶液相互間の電気的連結に使用する三方ガラス管の尖端を細くするか、または管の尖端にガラス毛細管をつなぐことによって、ある程度は満足されていると思われる。1.5 mM・HCl 溶液についての測定値が計算値に一致することは、この実験方法によって目的としている起電力の測定

が可能なことを示すものであろう。しかし、15 mM・HCl あるいは 0.15 M・NaCl 溶液中でのイオン移動度とイオン活量、とくに後者については全く推定の手段はなく、逆に「液間起電力を知って後に活量が計算できる」と吉村<sup>13)</sup>により述べられている。前表の計算値を求めたのは、検液中のイオン移動度はそのままとし、イオンの活量係数は、物理化学の成書<sup>16)</sup>より引用し、3 M・KCl 溶液中で 0.57 (25°C, ほかも同じ) 0.15 M・KCl または 0.15 M・NaCl 溶液中では 0.75 とし 0.1 M 以下では 0.9 または 1.0 とした。これらの係数値がいまの場合妥当であるかどうかは判断できないが、これらを 1.0 に近づけても、3 M・KCl 溶液と検液との液間起電力の絶対値は小さくなるがその程度は極めて少ない。たとえば、検液として 0.15 M・NaCl をとり、これと 3 M・KCl 溶液との液間起電力を算出する場合、前者での活量係数を 0.75、後者のそれを 0.57 とすると 0.84 mV が得られ、係数をそれぞれ仮に 0.9 と 0.7 としても、計算値の差は小数点以下 3 桁目に出る程度である。したがって活量係数の仮定が妥当でない場合は、0.15 M・KCl と検液との液間起電力の計算値が比較的大きな影響を受け、前表の計算値と実測値との比較ができなくなる。しかし、検液を 0.15 M・NaCl とすると、これと 0.15 M・KCl 溶液の間

ではイオン活量は近似的に等しいと考えて差し支えない。それにも拘わらず、実測値と計算値は一致していない。これは実測値の方を主体とするならば、起電力の計算に際して、イオン移動度に補正がされていないためであろう。

一般に KCl とか NaCl 溶液について、その無限大稀釈のときのイオン移動度と、イオン濃度が 0.1 のときのそれとを比較すると、後者の方が前者の 10-40 % も小さいといわれる<sup>16)</sup>。前表について実測値と計算値を比較検討する場合、実測時に両液の接する界面が "continuous mixing boundary" であるにしても、両液中でのイオン活量だけについて仮定を設けるのは不十分で、イオン移動度についても考察する必要がある。表の第Ⅱ群はイセチオン酸ソーダについての実験であるが、溶液中において Na イオンと 1 価の有機陰イオンに解離するものとし、後者の移動度は 0 として Henderson の式から計算した。水溶液については、上記の NaCl 溶液の場合と全く同じことが考えられ、KCl 溶液中に溶存する場合は、次記のアルブミンが溶存する場合と同様の取り扱いが可能と思われる。

3. アルブミンを含む KCl または NaCl 溶液と 3 M・KCl 水溶液との液間起電力

液間起電力 (E) についての Planck の一般式は、

$$E = -\frac{RT}{nF} \cdot \ln \xi \quad (\xi \text{ は次の式で与えられる}) \dots\dots(1)$$

$$\frac{\xi C_2 u_2 - C_1 u_1}{C_2 v_2 - \xi C_1 v_1} = \frac{\log (C_2/C_1) - \log \xi}{\log (C_2/C_1) + \log \xi} \cdot \frac{\xi C_2 - C_1}{C_2 - \xi C_1} \dots\dots(2)$$

ここに  $C_1$  と  $C_2$  は両液 (I と II) のイオン活量、 $u_1$  と  $v_1$  は I 液中での、 $u_2$  と  $v_2$  は II 液中での陽イオンと陰イオンの移動度、 $n$  はイオン価、 $R$  はガス常数、 $F$  はファラデー常数、 $T$  は絶対温度。

そこで I 液を 3 M・KCl とし、イオンの活量係数を 0.57 と仮定する (前記)。イオン移動度は II 液との相対値をとることにして数値を与えないが、 $K^+$  と  $Cl^-$  の移動度は、従来の文献にしたがって近似的に等しいとする。II 液はアルブミンを含む 0.15 M・KCl 溶液とし、負の荷電を

もつアルブミン粒子は  $K^+$  および  $Cl^-$  の移動度とイオン活量を減少せしめるものと仮定する。活量の減少度を推定することは困難であるが、前記のように II 液中での活量係数に多少の変動があっても、いまの場合、液間起電力の計算値は殆んど変化しない。したがって、この係数は

0.15 M・KCl 水溶液の値を成書<sup>17)</sup>より引用して 0.75 とするが、これよりも小さい場合は起電力の計算値(絶対値)は、つぎのものよりも小さくなる。

$$\frac{0.1125 a \xi - 1.71}{0.1125 b - 1.71 \xi} = \frac{\log 15.2 + \log \xi}{\log 15.2 - \log \xi} \cdot \frac{0.1125 \xi - 1.71}{0.1125 - 1.71 \xi} \dots\dots(3)$$

そこで (1) 式の E (mV) の値として ± 0.5, ± 1.0, ± 1.5……を入れ、n=1 としそれぞれに應ずる log ξ の値を算出し、対数表より ξ (真数) をもとめて、これらの数値を (3) 式に代入すると、E のひとつの値に対して、a と b との直線関係がひとつ得られる。これが第 2 図である。

第 2 図における横軸は (3) 式の b の値、縦軸は同じく a の値であり、a と b は上記のように 0 と 1.0 の間にある。したがって、この範囲内の直線のみについてみるならば、E の最大値は 2.5 mV ぐらいであると推定される。その符号の正負は a と b とのいずれが大きいかで定まることは、両者がそれぞれ K<sup>+</sup> と Cl<sup>-</sup> の移動度の減少程度をあらわすことから容易に理解され、a>b か、a<b かは、共存する蛋白の荷電の正負によって定まるものである。一般に溶液の pH が 7.0 近傍のとき蛋白粒子は負の荷電を有することより、いまの場合は a>b と考えられる。すなわち、第 2 図の直線群のうち、左上半部の実線で示した部分のみが実際面で妥当性があり、3 M・KCl 溶液側の電位が高い (positive) 筈である。

なお、a=b の場合に液間起電力がないことは、(1)式で log ξ=0 とおき、これと ξ=1 とを (3)式に代入することにより逆算され、図では原点 (a=0, b=0) を通る 45° の直線で示される。また、予想される起電力の最大値を算出するには、(3)式に a=1 と b=0 とを代入し、ξ と log ξ についての関係式を求める。この式は容易に解くことはできないが、近似的には片面対数方眼紙上で図解することが可能であって、E の近似値として 2.6 mV が得られる。

4. アルブミンを含む KCl または NaCl 溶

すなわち (2) 式において、

$$u_1 \doteq v_1, u_2 = au_1, v_2 = bv_1$$

$$0 < a < 1.0, 0 < b < 1.0$$

$$C_1 = 3 \times 0.57 = 1.71, C_2 = 0.15 \times 0.75 = 0.1125$$

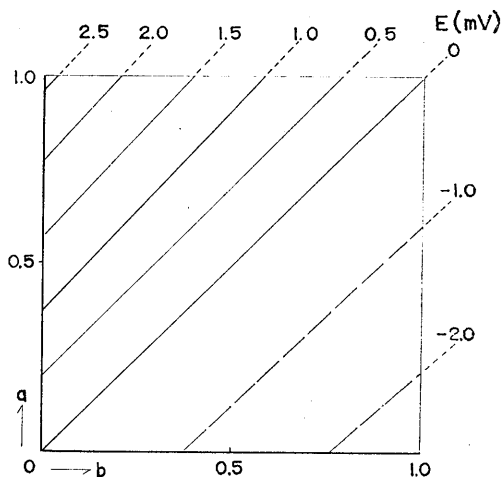


Fig. 2.

A graphic method to evaluate the liquid junction potential between 3 M・KCl solution and test solution. In the latter, it is assumed that the mobilities of cation and anion are decreased. The decreasing grade are a (ordinate) and b (abscissa), respectively. Introducing an arbitrary figure, written at the upper or right side, to the potential value in the Planck's equation, a linear relation between a and b can be obtained. See equation (1), (2) and (3) in the text.

液と 0.15 M・KCl 水溶液との液間起電力

起電力の算出は、前項と同様な取り扱いによって行なうことができる。たとえば、第 I 液を 0.15 M・KCl 溶液とし、第 II 液をアルブミンを含む 0.15 M・KCl 溶液とし、II 液中における K<sup>+</sup> と Cl<sup>-</sup> の移動度は、第 I 液中に比して減少するものとする。イオン活量については適当な仮定を設けなければならないが、Keynes<sup>18)</sup>によれば Cl<sup>-</sup> の活量係数は海水中とイカ巨大神経の軸索内液とで等しいという。そこで(1), (2)式において C<sub>1</sub>=C<sub>2</sub> とし、ほかの条件は (3) 式を導いたときと全く同じとして描いたものが第 3

図のAである (Henderson の式によっても全く同様な図形が得られる). この際予想される起電力の最大値は 17.4 mV で, 検液に対して 0.15 M・KCl 溶液側の電位が高い. 第3図のBは, II液中においてイオン活量が仮にI液中の90%になる ( $C_2=0.9C_1$ ) として描いたものであるが, いま考察している要点はA図と大差なく, 予想される起電力の最大値を計算すると 16.4 mV が得られる. すなわち, いずれにしても第2図と比較することにより, 0.15 M・KCl は 3 M・KCl 溶液に比して大きな液間起電力を生ずることが明らかである.

さて本項の起電力は前記の模式において, 検液をアルブミンを含む 0.15 M・KCl または NaCl 溶液としたときの  $P_3$  に相当するものであって, 実測された電位差には, このほかに  $P_2$  と  $P_4$  とが含まれている.  $K^+$  の移動度と  $Cl^-$  のそれとが近似的に等しいとして  $P_4$  を無視すれば, 前表に示された電位差の実測値は  $P_2$  と  $P_3$  の代数和である. 検液がアルブミンを含む 0.15 M・KCl 溶液の場合,  $P_2$  の計算値は 0 と 2.5 mV の間にあり,  $P_3$  は 0 と 17.4 mV の間にある. 両者は方向が反対であり, 上述したように一方が最大値をとるときは他方も最大値をとるため, その代数和の最大値は約 15 mV で, 模式の左側 (0.15 M・KCl 側) の電位が高いことになる. し

かし実際上は, 蛋白を含む KCl 溶液内で  $Cl^-$  の移動度が 0 になるとは考えられない. その減少度を仮に 10%, すなわち (3) 式で  $b=0.9$ ,  $a=1.0$  として計算すると, 前表の第3群に示したように, 実測値と計算値とが一致する. また, イセチオン酸ソーダを含む KCl または NaCl 溶液中で, イオンの移動度が稀薄水溶液中と同じであると仮定して計算すると, 表の第2群に示したように, 計算値は実測よりも大きな値となる. したがって, 塩類溶液中にアルブミンなどを含む場合, 仮にイオン活量が低下しないとしても, 陰イオンの移動度は減少すると考えるのが適正で, 本実験で  $Cl^-$  について約 10% の減少と判断される.

#### 5. 溶液の pH, 溶存蛋白の種類濃度

細胞内液と KCl 水溶液との液間起電力は, この実験における牛アルブミンを含む KCl 水溶液のものと異なるかも知れない. しかし牛アルブミンの代りに, 卵アルブミンまたは人血清の分割を使用した実験で, 成績に差はなかった. 液間起電力を左右する因子は, Henderson の式または Planck の式より明らかなように, 定温のときにはイオンの活量と移動度である. これらは溶存している蛋白の粒子の大きさや荷電によって影響される. 蛋白の種類によって粒子の大きさなり形が変るけれども, その程度は蛋白粒子と無機イオンとの差異に比べると桁違いに小さい. イオンの移動度に対する影響は蛋白の種類によって著しい差があるとは思われない. 一方, 蛋白粒子の荷電は溶液の pH によって左右される. 溶液の pH を下げた実験では, 測定した起電力の絶対値が小さくなる傾向が見られたが, 元来 pH が 7.0 近傍に於ける起電力が小さいため, これを定量的に取り扱うことは困難であった. 起電力の小さくなることは, pH が酸性になるに従って蛋白粒子の荷電が減少し, 無機イオンの活量なり移動度に対する影響が少くなるものと解釈されるが, 細胞内電位を問題にする限り, pH 6.0 以下の条件は考える必要はない.

蛋白の濃度として, 実験では血清中の濃度に

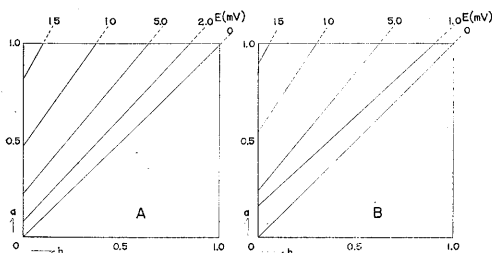


Fig. 3.

Evaluation of the liquid junction potential between 0.15 M·KCl solution and test solution. The method to draw these figures is the same as Fig. 2. In the left (A), it is assumed that the ionic activities are the same in the two solutions, and in the right (B), that the activity of anion is decreased by 10% and that of cation is not changed.

近似せしめて7%程度にしたが、細胞内液の濃度がこの値と異なることが予想される。

Szent-Györgyi<sup>19)</sup>によれば骨格筋の sarcoplasm 中の蛋白は、ミオグロビンと酵素が主体であって総蛋白量の30%といわれる。Sarcosome の存在、myofilament 内でのアクチンとミオシンの配列などを考えると、液間起電力の取り扱いにおいて、細胞内液をアルブミンなりグロブリンの塩類溶液と同様に考えてよいかどうかも問題である。しかし実際問題として微小電極を細胞内に挿入する場合、細胞内での蛋白分子の配列は乱れるであろうし、細胞内にある電極尖端部近傍で蛋白の濃度、種類は、そのときどきによって違うものと予想される。それにも拘らず、従来の先人の成績で、反復刺入実験例が1 mV 以内の精度で細胞内電位を与えていることから判断すると、ある限度内での蛋白濃度の変動は、液間起電力に変化を与えないものと思われる。

#### D. 要 約

1. 細胞内電位の値を補正する目的で、3 M (Mol/l H<sub>2</sub>O) KCl 溶液および 0.15 M・KCl 溶液と 2, 3 の検液との間の液間起電力を測定し考察を加えた。検液は塩酸、イセチオン酸溶液、牛アルブミンを含む KCl または NaCl 溶液とし、電位差は UX-54 を使用した Du Bridge & Braun 方式で測定した。

2. 検液内でのイオン活量は水溶液中と大差ないが、イオン移動度は減少するものとして、Planckの式または Henderson の式から液間起電力を算出すると、3 M・KCl 溶液は牛アルブミンが7%溶存する 0.15 M・KCl 溶液との間に 0~2.6 mV の起電力を生ずる。0.15 M・KCl 溶液については、0~17.4 mV の計算値が得られる。いずれも KCl 水溶液側の電位が高い。

3. 液間起電力を模式的に、3 M・KCl|検液|0.15 M・KCl とする。検液をアルブミンを含む 0.15 M・KCl 溶液としたときの実測値は1.2~1.7 mV で模式的左側の電位が高く、同じく 0.15 M・NaCl 溶液としたときは、1.9~2.1 mV で右側の

電位が低い。これらの実測値は、検液中において陽イオンの移動度は水溶液中と等しく、Cl<sup>-</sup>の移動度が水溶液中に比して10%減少すると仮定して求めた計算値に一致する。

4. アルブミンを含む検液の pH が低下すると、液間起電力の実測値(絶対値)は小さくなる。検液中に含まれる蛋白質の種類、またはその濃度の多少の変化は液間起電力に影響しないものと思われる。

#### 文 献

- 1) Curtis, H.J. and K.S. Cole (1942) Membrane resting and action potentials from the squid giant axon. *J. cell. comp. Physiol.* **19**, 135
- 2) Bear, R. S. and F. O. Schmidt (1939) Electrolytes in the axoplasm of giant nerve fibres of the squid. *J. cell. comp. Physiol.* **14**, 205
- 3) Cole, K. S. and J. W. Moore (1960) Liquid junction- and membrane potentials of the squid axon. *J. gen. Physiol.* **43**, 971
- 4) Hodgkin, A. L. and A. F. Huxley (1945) Resting and action potentials in single nerve fibres. *J. Physiol.* **104**, 176
- 5) Webb, D. A. and J. Z. Young (1940) Electrolyte content and action potential of the giant nerve fibres of *Loligo*. *J. Physiol.* **98**, 299
- 6) Steinbach, H. B. and S. Spiegelman (1943) The sodium and potassium balance in squid nerve axoplasm. *J. cell. comp. Physiol.* **22**, 187
- 7) Nastuck, W. L. and A. L. Hodgkin (1950) The electrical activity of single muscle fibres. *J. cell. comp. Physiol.* **35**, 39
- 8) Hodgkin, A. L. (1951) The ionic basis of electrical activity in nerve and muscle. *Biol. Rev.* **26**, 339-409
- 9) Wilde, W. S. (1945) The chloride equilibrium in muscle. *Am. J. Physiol.* **143**, 666
- 10) Hodgkin, A. L. and B. Katz (1949) The effect of sodium ions on the electrical activity of the giant axon of the squid. *J. Physiol.* **108**, 37
- 11) Baker, P. F., A. L. Hodgkin and T. I. Shaw (1962) Replacement of the axoplasm of giant nerve fibres with artificial solutions. *J. Physiol.* **164**, 330
- 12) Baker, P. F., A. L. Hodgkin and H. Meves (1964) The effect of diluting the internal solution on the electrical properties of a perfused giant axon. *J. Physiol.* **170**, 541

- 13) 谷国勝美・藤本勝喜・川端五郎(1965) 静止電位値の検討(Ⅰ. 銀・塩化銀電極の単極電位差, Ⅱ. 微小電極の液間起電力) 日本生理誌 **27**, 446-453
- 14) Loewenstein, W. R. and Y. Kanno (1963) Some electrical properties of a nuclear membrane examined with a microelectrode. *J. gen. Physiol.* **46**, 1123
- 15) 沖充(1960) 微小電極の尖端電位について 山口医学 **9**, 1341
- 16) 吉村寿人(1942) pH の理論と測定法 (§49 拡散電位差) 東京・丸善 464
- 17) Robinson, R. A. and R. H. Stakes (1955) *Electrolyte solution*, Butterworth Sci. Pub., London
- 18) Keynes, R. D. (1963) Chloride in the squid giant axon. *J. Physiol.* **169**, 690
- 19) Szent-Györgi, A. G. (1960) Proteins in the myofibril, (in Bourne, G. H.: *Structure and function of muscle*, Vol. II) Academic Press, New York

## 地方小学会報

## 第167回生理学東京談話会

日時 昭和40年6月26日(土)午後1時より

所と当番 日本大学医学部第1講堂 内山孝一・森 信胤・円谷 豊

## 1. 竹中敏文(東京医歯大医生理)

灌流巨大神経線維に於ける興奮性と **lyotropic series** について

Loligo pealii の神経線維の興奮性を維持するのに如何なる灌流塩類溶液が、より有利なるかを比較する為に次の2通りの方法を用いて実験を行ない、その序列を求めた。

1. 最初にある種の塩類溶液を灌流し conduction block の生起した後、他種の塩類溶液を灌流した場合に conduction の回復の有無。

2. 個々の灌流塩類溶液について conduction block をおこす迄の生存時間の比較である。陰イオンと陽イオンの系列は、  
 $F^- > HPO_4^{2-} > glutamate, aspartate > citrate > tartrate > propionate > SO_4^{2-} > acetate > Cl^- > NO_3^- > Br^- > I^- > SCN^-$ ,

$Cs^+ > Rb^+ > K^+ > NH_4^+ > Na^+ > Li^+$

であった。これは離液順列(lyotropic series)に殆んど一致する。又灌流溶液を稀薄にした場合、神経の conduction block を起す迄の生存時間が長びくことをみた。

これらの結果は、膜の中の水の構造、並びに荷電した巨大分子とイオン間との相互作用によって説明される。興奮膜に於いて膜の中の2個の陽イオンが1個の陽イオンと入れかわるといふ two-stable theory の物理化学的意義はこのような巨大分子の考察により理解される。

(この実験は Dr. I. TASAKI, Dr. I. Singer と共同で行なったものである。)

問 内山孝一(日大第1生理)

田崎説と ionic theory との関係はどのようにお考えになっていますか。

答 Two stable theory は静止の状態の場合、膜の中で結合している2個の陽イオンが、興奮した状態においては追い出され、それに代って1個の陽イオンが結合するという説である。したがって ionic theory の特殊な Na-ion によるという説とはあいられない。

## 2. 島本多喜雄・石岡忠夫・須水俊明・柳下 満・松

## 村釣男・佐々木俊明・玻座真博公

**Bradykinin** の静脈収縮作用とその拮抗物質

現在迄血管拡張、収縮に関する研究は、主として動脈・毛細管などを漠然とさし、静脈に対する系統的研究に乏しい。しかし、Rowley(1963)が体内炎症物質の bradykinin, histamin, serotonin が静脈を収縮させ静脈内圧をたかめ、この現象が Majno(1961)らのいう細静脈・毛細管の leaking vessel の endothelial gap からの高分子・血球の滲出という血管透過性亢進現象の第一段階であることを報じてから、静脈収縮物質並びにその拮抗物質の生理学的病態生理学的意義が認識されて来た。

我々の創案したウサギ伏在静脈、耳辺縁静脈、イス冠状静脈を 37°C 酸素飽和した Ringer 氏液で灌流する方法で bradykinin, lysylbradykinin は 0.002-0.005  $\mu$ g で静脈収縮を起すこと、adrenaline はその10倍、noradrenaline は20-100倍; histamin は千倍、acetylcholine は1万倍で静脈収縮を起すこと、vasopressin は0.25単位で拡張を起すことを知った。

この bradykinin の静脈収縮作用に対し、伏在静脈で11例の対照群に対し、pyridinolcarbamate (B<sub>23</sub>) 50  $\mu$ g/ml を含む Ringer 氏液で灌流した5例との間で bradykinin の静脈収縮に対する効力比0.467, 200  $\mu$ g/ml 群3例で0.388, 800  $\mu$ g/ml 群3例で0.098となり、勾配66.3, 精度係数0.103の値を得、pyridinolcarbamate は bradykinin の competitive な拮抗物質であることが証明され、且この拮抗作用は可逆的なものであった。

Aspirin の50  $\mu$ g/ml も bradykinin の静脈収縮作用に noncompetitive に拮抗するが、400  $\mu$ g/ml 以上では非可逆的であった。

Cyproheptadine の50  $\mu$ g/ml も可逆的に bradykinin に拮抗するが、拮抗様式は noncompetitive であった。

ウサギ耳静脈、イス冠状静脈でも pyridinolcarbamate の拮抗様式につき同様の知見を得た。

またウサギ伏在静脈、耳静脈は bradykinin で spastic に収縮し、イス冠状静脈では tonic な収縮様式を示すことを知った。

問 新島 旭 (新潟大第1生理)

細小動脈に対する bradykinin 作用について  
答 細小動脈に対し、一般に bradykinin は拡張作用を有すると考えられている。

しかし、イヌの冠状動脈は拡張し、羊の冠状動脈は収縮するという様に、動物の種類、あるいは臓器により異なる作用を有することが知られており、現在教室においても詳細を追求中である。

### 3. 中山昭雄・堀 哲郎 (名大第1生理)

#### 皮膚感覚と誘発電位の相関

被験者が仰臥位、右側臥位または左側臥位をとり、右前膊に電激を与えて頭皮上より誘発電位を加算法で記録すると、姿勢によって波形に特有な変化がおり、電激に対する感覚もまた変ることを知った。

刺激側 (右) を下にすると、潜時 60 msec 以内の早い成分がわずかながら抑制を受け、遅い波は逆に振幅が大となる傾向がある。一方左側臥位をとると早い成分の振幅が大となり、遅い波が抑制されるのを見た。

仰臥位のときの電激に対する感覚を対照とすると、右側臥位ではすべての被験者(23名)が刺激が強く広範囲に感ずると訴え、左側臥位をとると23名中17名が刺激を弱く且つ限局して感ずると述べ、残り6名は仰臥時のそれと同じであると答えた。

ある被験者は電激に対する感覚が、呼吸周期によって変るようだと言ふ。そこで数人の被験者について吸息の頂点のみ、または呼息の頂点のみに刺激を与えたところ、前者では左側臥位時と、後者は右側臥位の時と同じ感覚が生ずると答えた。

仰臥位で吸息の頂点のみに刺激するか、又は長い吸息時に15回/15秒の刺激を与えて誘発電位を記録すると、早い成分の増強と、遅い波の抑制が見られた。呼息の頂点のみで刺激を行なうと逆に早い成分の抑制、遅い波の増強が認められた。

問 内菌耕二 (東大第2生理)

- 1) Sleep 中にはどうなりますか。
- 2) 2点弁別閾は変化しますか。

答 1) Drowsy の状態では誘発電位のすべての component が小さくなるが、特に latency 80 msec くらいの遅い陰性波が強く抑制される。

- 2) まだ試みていない。

### 4. 戸塚武彦 (日本医大生理)

#### 心電図の誘導に就て

容積導体である心臓に起因する活動電位の綜合を容積導体である胸壁上から導出するのであるから、それは立体空間の中に現わすべきである。普通には肢誘導を以て前額面、Wilson の胸部誘導を以て水平面を代表してこの要求を満して居るのであるが、この方法による二平面が互に直角であると云う理論的根拠はない。而も肢誘導において RL と LF は空間的には直角に近い方向ではあるが、数量的には Einthoven の正三角形図形を満足すると云う様な矛盾がある。誘導の三点が正三角形の位置から取って居るならば、空間的条件と幾何学的条件とが合致する。立体的な場合にも正四面体の頂点から誘導すれば良い。その意味で演者は①左鎖骨中線、肺肝境界、②同じ高さの右鎖骨中線の点、③④1) と2) の距離 (凡そ20 cm) だけ上がった1)の上の点2)の上の点、之で前胸壁に正四角形が出来る。⑤⑥⑦⑧1)2)、3)4) 点の背面对称点；以上の8個の点は正立方体を成す。そこで①④⑥⑦の4点は互に等距離 (約28 cm) にあり正四面体の頂点をなす。之をA, C, B, Dと名付ける。この4点に電極を連ねれば、 $AB \perp VC \times \sqrt{3} \perp VD \times \sqrt{3} / \sqrt{2}$  は互に直角座標を形造る。之を立体幾何学的に軸変換すれば

$$X = \frac{1}{\sqrt{2}} \{ (B+C) - (A+D) \},$$

$$Y = \frac{1}{\sqrt{2}} \{ (D+C) - (A+B) \},$$

$$Z = \frac{1}{\sqrt{2}} \{ (B+D) - (A+C) \},$$

の3軸は互に直角軸 (胸廓の中心点で交る) になる事を知る。12個の routine の誘導の代りにこの X, Y, Z の3誘導で充分に理論的に立体誘導が出来る。

次に演者はこの誘導法を用いて心電図誘導の理論を展開しようとする。詳細は原著に譲るが、少くとも完全脚杜塞の心電図は興奮波が曲線を為して伝播するものとして充分に説明されるとした。次に正常心電図は左及び右から出発した興奮波が夫々上述の曲線に沿って伝播しながら、互に衝突したところで消えると云う考えで、一応説明せられると説いた。更にこの考え方を拡充して病的な心電図の成因までに及ぶのであるが、今回はそれまで言及しなかった。

## 短 報

## 〔見聞記〕

## 1. 第30回 Cold Spring Harbor Symposium

富田恒男 (慶大生理)

例年の Symposium が6月4日から11日迄の1週間 Cold Spring Harbor Laboratory (所長 Dr. John Cairns) で開かれた。今年の主題は "sensory receptors" で、この種のものとしては1952年の "Neuron" 以来13年振りである (その間遺伝や核酸といった分子生物学的なものが続いた)。会場は New York 州 Long Island の内海側に面した閑静な地にある研究所で、別に近所に冷泉らしいものも、またヨットハーバー以外に一般の港らしいものも見当らない。New York 国際空港から車で1時間程の距離にある。丁度カブトガニの産卵の時期に当り、夕刻多数のカブトガニが砂浜にはい上っているのが見ものであった。

参加者は総数171名であったが、これには各自の専門の session だけ聴いて帰るといった人も含まれるので、平均1日の出席者はその半数程度であった。日本から留学中の人にも何人か会った。講演者は九大解剖の山田教授と私とである。

第1日 (6月4日、金) は夕刻から行なわれた簡単な開会式だけ。そして第2日 (5日、土) の午前には Davis 司会の下に Grundfest, Lowenstein ら4名による総論、そして午後から各論に入り、その後は日曜も返上しての精進振りで、触、圧、聴、嗅、味、視覚と続いて最後に data processing の諸問題が論じられた。時間的な割り振りは視覚関係に全体の略々半分、そして視覚以外に他の半分といった所であった。

はっきり云って講演の凡てが新鮮で聴衆を魅了したとは云い切れない。13年前の "Neuron" を手にした時の感銘からみると何か期待外れの感さえ受けたのは何故か。このことは私だけの印象でなく、聴講中の日本人留学生の間の囁きでもあ

た。然し今になってこの様な印象が見かけ上のものであったことに想い及ぶ。第1は何と云っても本邦研究者の "成長" で、国際的水準が今や我らのものであること、そして第2は聴くのと読むとの違いである。"Neuron" の場合でももし我々に読むべき論文を選択する自由が与えられず、初めから終り迄読むことを強いられたら、感銘は今回の場合と大差なかったであろう。論文集からは拾い読みの特権が得られる。そして限られた数篇の優れた研究論文が我々の image を支配する。そういえば確かに今回の symposium でも私の息をつめさせた幾つかの研究報告があった。Karolinska Institutet の Wersall 及び Flock による蝸牛、前庭及び魚の側線器官内 mechanoreceptor の電顕的構造と機能との見事な対応、early receptor potential (e. r. p. と略し、普通の刺激光より数桁も上の極度に強い閃光刺激を与えた時にみられる潜時が0に近い視細胞の電気応答で、Brownおよび村上の発見になる) に対する Harvard 大学 Cone によるその後の見事な研究の展開、いかの単一視細胞についての NIH の Hagins による Current field の研究、Harvard 大学 Wald らによる人眼についての単一錐体の difference spectra と action spectra との対応などはその例である。なお山田教授の水平細胞を主とした網膜の電顕的研究も立派であったし、私の S-電位と単一錐体電位の報告も大体において意を尽し得たと自負する。どうやら学問の周辺ばかりを多く述べた形となったが、詳細は近く Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol., Vol. 30 として出版されるのでそちらを見て頂きたい。最後にこの Symposium が合宿の形で行なわれる関係上時間的な制約が少く、討論や個人的な話し合いは夜の12時迄続くことも稀でなく、学問上からも交友を温める上からも裨益する所甚だ大であったことを附記する。

(1965年8月10日記)

## 2. Nobel シンポジウム「筋の求心性インプルスと運動の調節」について

藤森聞一 (北大第2生理)

Nobel 研究所の R. Granit 教授は、最近筋紡

錘の働きを考慮に入れた運動の神経調節機序の解明に意欲的な研究を展開しておられるが、来年に停年退職をひかえたこともあり、この6月1日から4日間、この方面の国際シンポジウムを主催さ

れた。

参加者としては、Lord Adrian と Sir Eccles が賓客として招待され、それに Granit 教授の3名が、とくに Sweden 王立科学アカデミーで荘重裡に行なわれた開会式の折に、それぞれあいさつと特別講演をやられた。

各国から約30名の研究者が招かれ、それに欧州および自国からの参加者も加わって総勢は約80名となった。(米) E. Eldred, C. Eyzaguirre, V. J. Wilson, (英) D. Barker, J. A. Boyd, B. Katz, C. Phillips, (仏) Y. Laporte, (伊) G. Moruzzi, O. Pompeiano, (独) H. D. Henatch, (Norway) J. Jansen, (Sweden) A. Lundberg, O. Oscarsson, S. Skoglund, Y. Zotterman といった顔ぶれで、わが国からは千葉大の本間教授と私、それに欧州から東大脳研の島津、東大医歯大の本郷の両助教授、千葉大の高野講師が加わって合計5名になった。

一般の研究発表と討論とは、Stockholm 郊外の風光明媚、閑静な Nobel 財団関係の銀行の保養所で行なわれ、大部分の者はそこに1室づつを与えられて4日間生活をともにした。毎夕は市内へはこぼれ祝宴や観劇で帰館は深夜の1時頃になったが、昼間は9時半から5時まで、適当な休憩、食事時間をおきながら、実に規則的に、熱心な研究発表討論を行なうという仕組みで、さすが几帳面で学問熱心な Granit 教授の企劃だけのことはあるという印象をうけた。

Eccles 教授の講演内容は、最近とみに自信をもたれるにいたった小脳機能の微小電極による解析成績で、東大生理の伊藤助教授の最近の Deiters 核についての業績にも言及された。Granit 教授のそれは、筋の伸張という自然刺激による求心性インプスの前柱細胞内電位におよぼす効果の分析成績であったが、この方面の業績としては、一般発表における本間教授の、EPSP も時間的に緩徐に重畳してゆくと、佐々木と大谷 (1961) の漸増

電流刺激の場合と同様に accommodation が起こって、前柱細胞の発射閾値が高まるという報告が光彩をはなっていたように思われる。

今度のシンポジウムの焦点は、1961年香港における「筋受容器」のシンポジウム以来の英国の Boyd 博士と Barker 教授の論争に終止符がうたれたことであろう。それは前者が  $r$  線維はその太さによって  $r_1$  と  $r_2$  に区別され、それらはそれぞれ違う錐内筋線維を支配しているので、本質的に異なる系統のものであると主張してきたのに対して、Barker 教授は、その後の系統的な研究の成果として、 $r$  線維の太さは単にその終末部における分枝の性質にすぎず、それらの錐内筋線維の支配様式にも法則性は認められないというのである。なお Barker 教授が、ネコの骨格筋においても、運動神経線維のうちには、その分枝が錐内筋線維をも支配しているもののあることを組織学的にも実証した業績が注目をひいた。

こうして太さに関する  $r_1, r_2$  説は否定されたが、このような発表が刺激となって  $r$  線維には機能的にやはり dynamic と static な2種類があることが P. B. C. Matthews や Laporte 教授によって実証されたから、このような考えの上につつ  $r$  運動系の中樞機序の究明が、今後の課題となったわけであり、この方面について島津助教授も重要な発言をした。

その他の業績にふれる枚数の余裕をもたないが、いずれにしても、運動のこの方面からの研究は、臨床とも直結しているので、今後内外において大いに研究が進められることが期待される。

さいごに、人里離れた景勝の地で、同学の人々と起居をともにした4日間の生活はまことに楽しい想出となり、なお私も格別な厚遇をうけたが、それには日本で国際生理学会議が開かれるという背景も関係しているように思われた。

(1965年8月9日記)

### [班研究便り]

知覚および運動系における coding 機構の研究  
佐藤昌康 (熊本大第2生理)

目的：多くの神経生理学者は同じような考え方、同じような研究方法を用いて、異種の感覚器

からの神経インパルスの有する情報の解析を行なっております。他方、自分とは少しちがった方法で研究をすすめている人がおります。ところが学会では十分な発表の機会、時間が与えられませんので、他の人の行なっている研究について充分熟知することができない状況です。このようなわけ

で、主として各種感覚器の受容機構、感覚器からの末梢、或は中枢における情報の分析を行なっている者が集ってこの総合研究をはじめました。

構想：具体的な研究方向としては各研究者によってそれぞれことなるとは思いますが、この班全体としては感覚器から発する神経インパルスのcodeを分析するのに統計的方法とか、最近はやりの相関計、加算装置、電子計算機とかを導入する方法の開発、普及化にも役立つのではないかと思います。

また本研究班全部として何かまとまって後に残るようなことができれば幸いであると私個人としては考えております。

メンバー：感覚系のみでなく運動系における遠心性インパルスについても、今までのべたことがあてはまりますので、本班にはその方面の人も含まれております。メンバーは下記の通りです。

本川弘一、高木貞敬、内藤耕二、時実利彦、勝木保次、富田恒男、本間三郎、新島旭、大村裕、古河太郎、入沢宏、及川俊彦、桑原万寿太郎、佐藤謙助、佐藤昌康（以上15名、敬称略）。

研究協議会：さる7月17日阿蘇内の牧温泉“火の国荘”で第1回協議会を開き、各メンバーの研究の発表、情報の交換を致しました。第2回協議会は12月11日（土）に東京虎の門の教育会館で開催する予定になっております。

## 〔会報〕

### 日本学術会議議員候補者推薦

来る11月25日に行なわれる日本学術会議議員選挙に関し、帯任幹部会で協議した結果、同選挙に立候補された下記の本会会員を、日本生理学会と

して推薦することに決定しました。ここにお知らせ致します。

朝比奈一男君

吉村 寿人君

(ABC順)

(1965年7月、庶務幹事松田幸次郎)

## 〔編集後記〕

○ 台風24、25号の荒れ狂った後、やっと9号の編集が終了しました。陣容を改めて再出発した日誌も仲々思う様に軌道に乗って来ません。一体編集者達は何をして居るのだらうとお叱りの方もあられるでしょうから一応編集会議の模様をお知らせ致します。

第1号に書きました在京の編集担当者が月に一回以上集まって先ず最近発行の雑誌の内容・体裁その他に就ての反省を致します。次に新しく集まって来た原稿をその内容に従って、編集者各自の比較的親しい部門のものを配分します。彼等は受取った原稿を夫々持ち帰りその論文を十分に検討し、多くの場合原著者との間に数回意見を取り交し、時には原稿の書き直しをして頂く事もあります。原稿の内容によっては各地区から委嘱してある専門の方に廻して同じ事をやって頂くこともあります。その様な操作の完了したものが初めて印刷の手続きに入ります。先ず東京で挿図の製版をし、之を適当に lay-out して山形県鶴岡印刷所に廻します。数回の校正後、発送は印刷所に委嘱します。

その他、総会並びに各地方で行った地方部会の抄録記事、各大学及び研究所でなされた業績（前年度）の集輯、巻末に附する一年間の記事の総目録、これらは編集担当者（現在は佐々木祐治君）が編集して呉れます。

今年から発足した所謂短報欄の記事（連報、会報、意見、提案等）の編集も勿論編集会議の仕事です。

やらねばならぬと知り乍ら、仲々具体化しないのが綜説欄です。誰々にどんな記事を書いて頂くかと云う議は度々出され、そして夫々お願いするのですが、皆様は研究その他で多忙なので、承知はして下さいでも実際には仲々書いては頂けないと云うのが実情です。その他あれもこれもと種々な問題がありますが段々とそれらは実現さねばなりません。投稿規定及び単位符号等の改正はやがてお目に掛けることが出来る筈です。

○ 国際生理科学会議とME学会が盛大に行われました。これらは大成功であったと思います。それに就てもそれを企画し実行して行った方々には大変な御苦労であったらうと察します。この席を利用して皆様と共に厚くお礼を申し上げ度いと存じます。

この生理学雑誌でも、来年度のどれかの号でこの空前の催しに就ての特輯号を出そうと云う案が出て居ますから、万事はその号に譲るとして二三の感じた事を述べさせて貰いましょう。

元来生理学会は英仏独伊の四ヶ国語を国際語としその孰れで発表しても良いと云う事だそうですが、実際には今度の学会は殆どが英語で発表せられたと云う事実注目したいと思ひます。それは日本人の大多数が英語なら解するからとの思い遣りから多くの参加者がそうして呉れたと云う事よりも、何か世界の学問交流の流れに英語が国際語に成りつつあると云う事を現して居るのかも知れません。現に戸塚が参加した H. Schaefer 提唱の nomenclature committee でも兎に角一応英語の術語に就て先ず検討しその結論を各国で夫れ夫れ自国語に訳して決めて行こうと云う事を議決しました。

つぎに感じたことは、この学会で発表の後の discussion が甚だ盛んであった事でありませう。これは大変に良い事で、我々の国内での学会でも大いに学ぶ可きだと思ひます。唯実際には我々も発言したいと思ふ事が度々あつても思ふ事を十分に表現出来るだけの語学の力が足りないで、遂に遠慮してしまふ事が多かつたのは甚だ残念なことでありませう。語学の力の不足と云えば之は僕だけの事だとは思ひますが、実を云うと講演の半分位しか理解出来なかつたと云う事も白状しなければなりません。言語上の handicap と云うものをつくづくと感じさせられたと云うのも此の学会のマイナスの意味の成果の一つと思ひました。

然らばどうしたら良いか。やはり今の所は残念ながら先ず英語だけでもペラペラになると云う事が国際学会に出席して皆の中に伍して行くには必要なことであるらしいのです。

そこで私は今更手おくれなわけですから致し方なく或る場合、brokenであらうと無かつた、おめず憶せず単語だけでも並べることになりました。それで一応は何とか用を弁じて来た様に思ひました。けれどもそんなに無理をするよりもやはり一

年か二年洋行するに越した事はないとつくづく思ひます。学問それ自身のレベルから云つて自分は欧米の誰にもおとらないと云う自信を持つ事は結構です。そして学術論文を書き又は発表するに足るだけの語学の力のある事は確かであらうとも、日常茶飯の会話がペラペラと受け答え出来なければやはり自他の意志が十分に疏通出来ないと思ひます。ですから外国から学ぶ可き何物も無いにもせよ洋行すること（スピード漫遊ではなく、一定期間）はやはり肝要なことです。

それに附加えて外国の同学の人々と個人的な交りをするに云う事も又十分に意味のあることです。今度の学会はその意味でも日本の生理学者にとって大きな役割をしたと思ひます。

同じ語学の問題になりますが、我々はどんなに良い研究を為しとげても、それが例えばこの日本生理誌にだけ掲載されても世界的には無に等しいと云う事は悲しいことです。

有名な I. P. Pavlov が立派な条件反射の仕事をつぎつぎに為し遂げて居たのに、そして勿論その道の専門家からは十分に評価されて居たのでありますが、Anrep が英語で彼の書を翻訳して出版するまでの20年間は世界的には充分な評価をされなかつたと云う事実、そしてその時以来 Darwin の進化論、Einstein の相対性原理と同様に世界の思想に革命的な影響さえ生じた程であります。

ましてや我々の仕事のごときは思ひ半ばにすぎることです。誰かが為し遂げた仕事と全く同じ仕事を若干おくれて欧米の誰かが発表したとしても世界的には priority は彼等のものになって仕舞います。そう云う意味で日本語で為された本誌の業績は全く意味がないから、本誌は単なる学会の親睦紙としてしまつて、原著は挙げて JJP にだけ発表しなければならぬと云う極論まで起つて来ます。或意味では全く尤もな議論とも思ひますが果してそれで良いのでしょうか。何か割り切れない物を感じるのには僕だけでしょうか。

(戸塚武彦)

\*世界に進出する

# Shimadzu MICROSCOPE

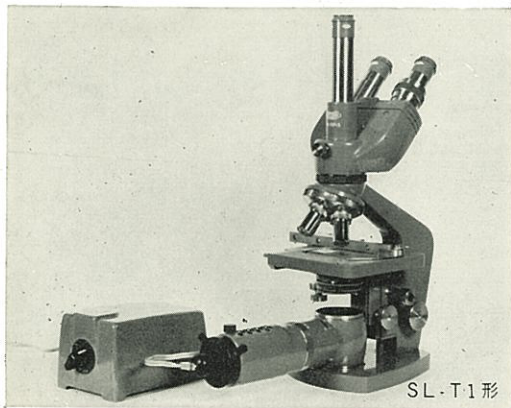
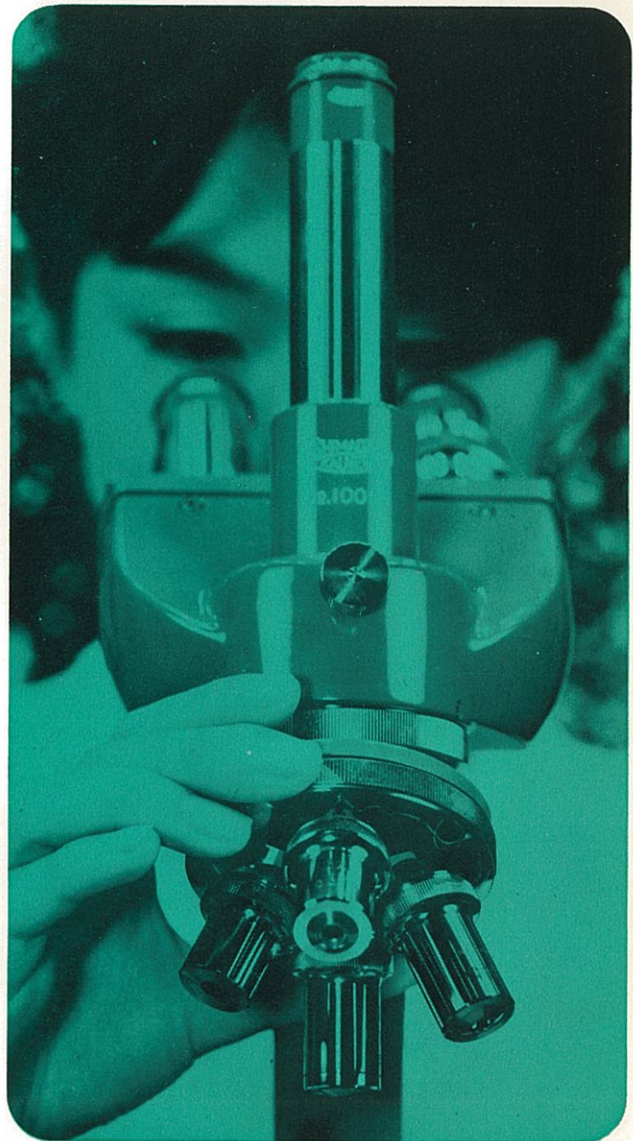
ボールベアリングが保証する  
感度と耐久力!

## 大形生物顕微鏡



SL形は あらゆる研  
究・臨床実験用として  
最高級の顕微鏡です

1. 単眼・双眼・三眼鏡筒の交換自在、回転自由の傾斜鏡筒
2. 一軸十字動装置
3. 高性能の大形レボルバ
4. 新機構・高感度微動装置
5. 写真撮影に適したスマートで安定性ある鏡基
6. ステージ自然降下防止装置
7. 反射鏡と交換できる専用直射照光ランプ



SL-T1形

### ● 種類

SL-S1形 (単眼) 50~1500×	¥ 48,600
SL-S2形 ( " ) " "	¥ 56,700
SL-B1形 (双眼) 70~1500×	¥ 77,900
SL-B2形 ( " ) " "	¥ 90,400
SL-T1形 (三眼) 28~1500×	¥ 112,800

<カタログ進呈>

科学器械事業部 京都市中京区西ノ京桑原町18 京都81-1111  
本社 京都・支社 東京・支店 大阪 福岡 名古屋 広島 札幌 仙台

# 島津製作所

\*世界に進出する

# Shimadzu MICROSCOPE

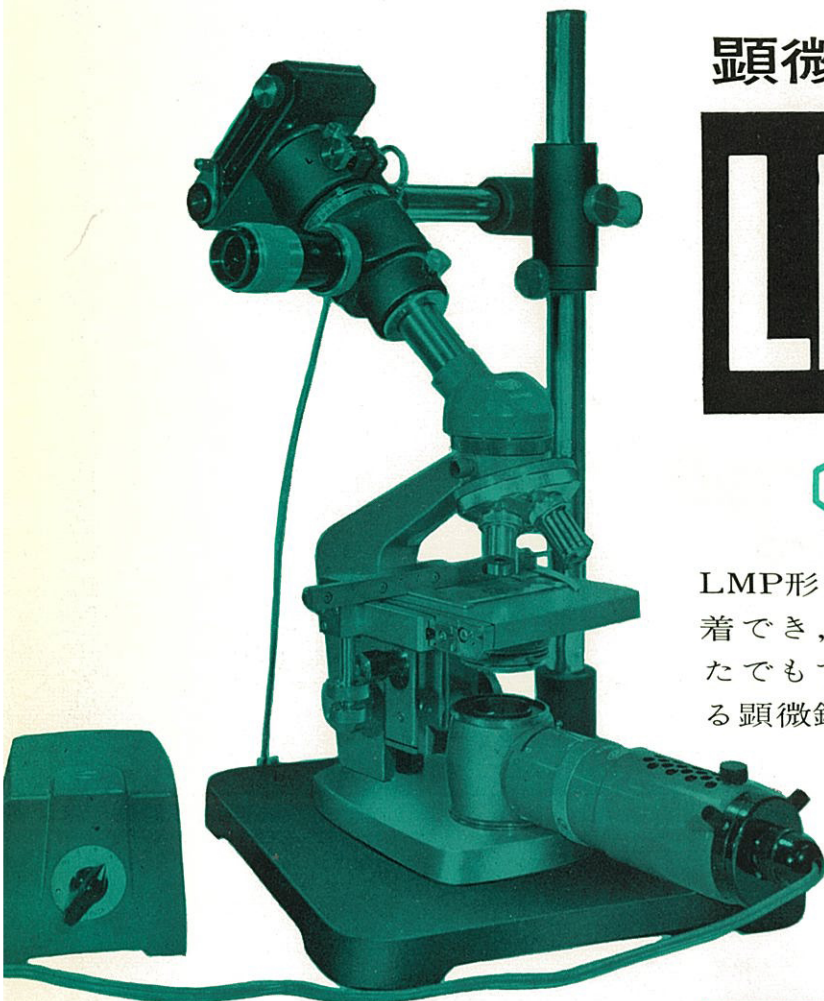
だれにでも写せる写真装置!

## 顕微鏡写真装置

# LMP形



LMP形はすべての顕微鏡に装着でき、簡単な操作で、どなたでもすばらしい写真が取れる顕微鏡写真装置であります。



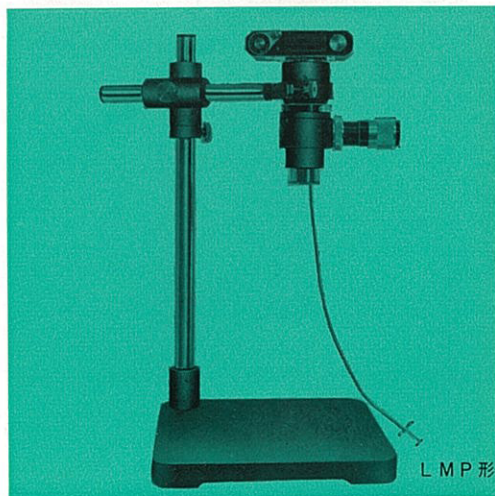
〈LMP形に直射照光ランプつきSL・S2形を装着〉

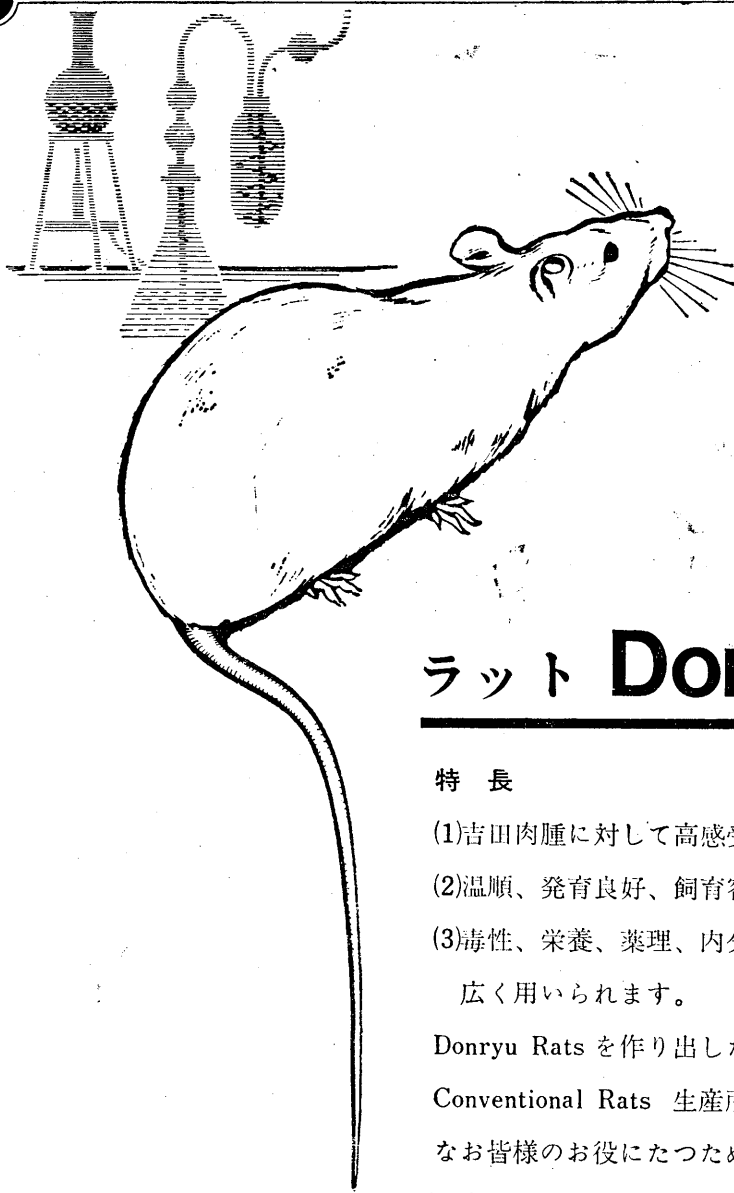
1. シャッタを切った瞬間も像が見られる
2. お手もとのカメラが使える
3. 焦準しやすいファインダピントグラス
4. 撮影倍率は $\frac{1}{2}$ 倍
5. どんな顕微鏡にも使用できる万能架台

定 価            ¥ 37,100

〈内 容〉

暗	箱	¥	7,600		
ア	タ	ッ	チ		
メ	ン	ト	¥	20,900	
万	能	架	台	¥	8,600





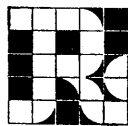
## ラット Donryu

### 特 長

- (1)吉田肉腫に対して高感受性を有す。
- (2)温順、発育良好、飼育容易。
- (3)毒性、栄養、薬理、内分泌その他、  
広く用いられます。

Donryu Rats を作り出した日本最大の  
Conventional Rats 生産所です。今後  
なお皆様のお役にたつため量・質とも  
に向上するよう努力いたします。

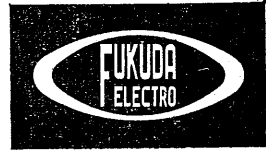
飼育系統——〈Donryu〉〈Wistar〉



日 本 ラ ッ ト ( 株 )

埼玉県浦和市根岸 608-3  
TEL (0488) 22-7493

RS-102A - B型



医用電子の総合技術が生んだ  
優れた性能……

卓越した電氣的諸特性が信頼性の高い波形を描記いたします / 専門的な器機的知識や複雑な操作のいらぬ自動連動機構 / 樹脂と金属とを特殊合成し防錆耐薬の新材質採用 / 洗練されたデザイン診療室に調和する色彩 / 長期保証つき

これが  
ニュー  
カルジオライト  
です

オールプッシュボタン方式・極性切換装置つき・セレクターとインストの自動連動機構・感度切換装置つき・自動的ペーパールーム・電氣的変速機構・記録紙残量表示装置つき・ブラウン管出力端子つき・その他諸機構に創意工夫が数多く採用され操作能率の著しい向上が本器により達成せられました。



## 福田エレクトロ株式会社

東京都文京区本郷2丁目35番8号 TEL (811) 4146-9

支店所在地 / 札幌・仙台・東京・名古屋・大阪・広島・福岡  
高松 / 営業所・全国13ヶ所 / 出張所・全国12ヶ所 / 海外駐在所・HAMBURG・NEW YORK・台湾

各科領域における

健保適用

37.10.1より



医薬は萬有

# 耐性

ブドウ球菌感染症に

内服用・注射用・新合成ペニシリン

# スタフシリン-V

STAPHICILLIN-V (メチルフェニルイソキサゾリルペニシリンナトリウム)  
内服用 (錠剤・カプセル)・筋注用

製造発売元 萬有製薬株式会社 東京都中央区日本橋本町 2-7

## 生物物理学講座 全10巻

★第4回配本★ 9月15日発売

● 日本生物物理学会 編集

### 生体機能の分子論

—内 容—

筋肉……………名取礼二  
筋収縮の生理学的研究……………真島英信  
筋肉の構造とその機能……………  
……………芳賀達也／浜浩子／野田春彦  
アクチニン……………丸山工作  
筋収縮における小胞体及びCaの役割……………江橋節郎  
蛋白分子重合体の構造形成と運動性……………大沢文夫  
光感覚とロドプシン……………原 富之  
光合成……………西村光雄／加藤栄／桜井英博／藤茂宏

〈480頁・定価2,200円〉

—全 卷 内 容—

- |                    |          |
|--------------------|----------|
| 1. 遺 伝 情 報 I       | ¥ 1,800円 |
| 2. " II            | 次回10月刊   |
| 3. " III           | 第8回配本    |
| 4. 生 体 高 分 子 I     | ¥ 1,800円 |
| 5. " II            | 第7回配本    |
| 6. 生 体 機 能 の 分 子 論 | ¥ 2,200円 |
| 7. 量 子 生 物 学 I     | ¥ 1,400円 |
| 8. " II            | 第6回配本    |
| 9. 膜 の 生 物 物 理     | 第9回配本    |
| 10. 神 經 の 生 物 物 理  | 第10回配本   |

毎月刊 A5判 / 特製クロス・ケース入 / 各巻300~450頁 / ¥ 1,500~2,000

発売元 東京 丸 善

京都市左京区田中門前町  
振替 京 都 4 6 2 4

株式  
会社

吉岡書店

J. Physiol. Soc. Japan Vol. 27, No. 9 (1965)

Originals

KAWAMURA-Yojiro · FUNAKOSHI-Masaya · NISHIYAMA-Tooru · MAJIMA-Toshio :  
 Electromyographic analysis of tongue muscle activities in the cat.....429

KAWAMURA-Yojiro · FUNAKOSHI-Masaya · NISHIYAMA-Tooru · MAJIMA-Toshio :  
 Afferent impulses from tongue for autogenetic regulation of tongue  
 muscle activity .....436

TANIKUNI-Katsumi · FUJIMOTO-Katsuyoshi · KAWABATA-Gorou :  
 On the measurement of intracellular potential.  
 Part I. Potential changes at the Ag-AgCl electrode.  
 Part II. Liquid junction potential of microelectrode .....446

TANIKUNI-Katsumi · FUJIMOTO-Katsuyoshi · KAWABATA-Gorou :  
 On the measurement of intracellular potential.  
 Part III. Liquid junction potential of the protein solution.....454

編集  
 集人

東京文京区本郷七丁目三の一号  
 東京大学医学部生理学教室内  
 戸塚武彦

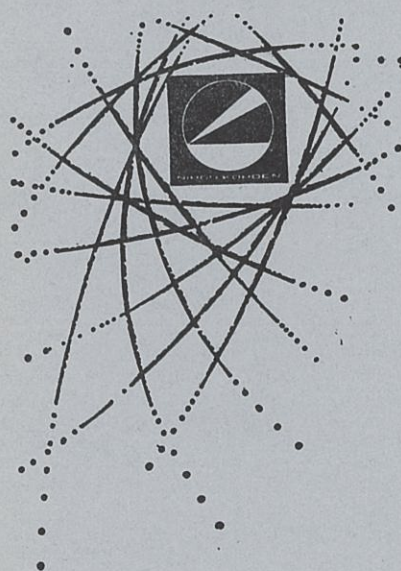
印刷  
 所者

山形県鶴岡市馬場町甲三  
 中村作右衛門  
 鶴岡印刷株式会社

発行  
 所

東京文京区本郷七丁目三の一号  
 東京大学医学部生理学教室内  
 日本生理学会

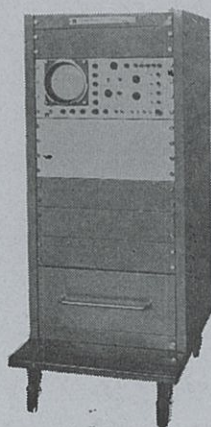
振替東京八六四三〇  
 定価百五拾円



専門メーカーが誇る 医用電子装置

デジタル型 ON-LINE 方式の  
 データ処理用電子計算機

- 入力信号は直ちに演算されブ  
 ラウン管上で結果が直続でき  
 る。
- 誘発反応の加算の他、外部ト  
 ガリによる加算も容易。
- 4つの現象の同時解析が可能。
- アナログ及びデジタル出力が  
 取り出せる。
- 関連する各種付属装置の組合  
 わせにより用途が広範。



日本光電工業株式会社

札幌営業所 札幌市豊平三条3-12 美好ビル TEL (81) 5706	仙台営業所 仙台市二日町1番 新産業ビル TEL (25) 1395	東京営業所 東京都新宿区角筈2-84 スタンダードビル TEL (342) 0231-8	名古屋営業所 名古屋市中区栄王山通り7 田代ビル TEL (751) 7068	大阪営業所 大阪市北区南森町11 第一ビル TEL (351) 2531-7	広島営業所 広島市中町9番3-301 新川場ビル TEL (21) 2506	福岡営業所 福岡市浜小路 浜小路ビル TEL (29) 7931-4	出張所 弘前/新潟/金沢/岡山/熊本/鹿児島
--	--	--	---	--	--	--	---------------------------