

日本

生理学

雑誌

JOURNAL OF THE PHYSIOLOGICAL SOCIETY OF JAPAN

30巻 2号 1968

綜 説

竹中繁雄：量子力学の構造..... 77

原 著

小野三嗣・大和真・尾谷良行・坪田修三・倉田博・
岩垣丞恒・高橋泰光：動的収縮中に発現する Silent Period
について..... 86

白木啓三：運動性貧血発生に対する脾臓の役割..... 96
白石武昌・原俊昭： γ -Aminobutyric acid (GABA) の脳機能に対する生理学
的意義に関する研究 I. α -Chloro- γ -aminobutyric acid (α -Cl-GABA) と
GABA の薬理学的作用の類似性について..... 109

白石武昌・大堀哲男： γ -Aminobutyric acid (GABA) の脳機能に対する生理学
的意義に関する研究 II. α -Chloro- γ -aminobutyric acid (α -Cl-GABA) の
脳内分布と体内諸臓器分布に就いて..... 114

速 報

Masahiro Ozeki and Masayasu Sato: Potentiation of postsynaptic depolarization by
5'-ribonucleotides in the crayfish muscle 120

Kohsi Takano and Masaakira Kano: Reflex activity of the muscle in tetanus intoxication..... 122

Sadao Hoshino・Teiichiro Tonoue and Kiyoshi Yamamoto: Differential effects of
dexamethason on L-alanine and L-leucine incorporation into rat pituitary
proteins 124

日本生理学史

内山孝一：江戸時代の実験生理学の先駆者伏屋琴坂の記念碑除幕式に列して..... 126

短 報

〔会報〕 特別会員、久保盛徳君逝去のお知らせ..... 127

人体基礎生理学研究所設立準備委員選挙の結果報告..... 127

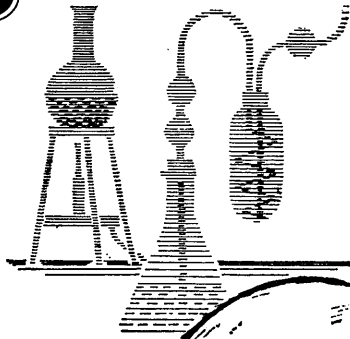
将来計画委員会議事録..... 127

〔学会予告〕 IV International congress for Pharmacology..... 128

〔編集後記〕..... 128

日本生理誌
J. Physiol. Soc. Japan

日本生理学会



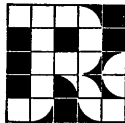
ラット Donryu

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)性周期4日で安定。Skin Grafto 高率。
- (4)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 生産専門メーカー
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〉〈Buffalow〉



日本ラット(株)

埼玉県浦和市根岸608-3
TEL (0488) 61-6850

[綜説]

量子力学の構造 530.145:577.3

Structures of quantum mechanics

竹 中 繁 雄 (Shigeo Takenaka)*

生理学および生化学に分子物理学が応用されたのは久しい以前のことであるが、近來この応用のために量子力学の基本的知識が要求されるようになった。本篇はこの要求に応じようとするもので、「量子力学の構造」と題してあるが、詳しくは量子力学の代数学的構造とでもすべきであった。代数学では問題を有限の場合に限ることができるから、論理が簡明となる。量子力学の扱うベクトルは無限次元空間のそれであるが、簡明のために有限次元空間のベクトルについてまず議論を行ない、次に無限次元空間に問題を移すこともよく見られる。筆者は殊に内積（ノルム）の定義と利用とに重点を置き、それが量子力学にどんな意味を有するかを構造の上から眺め、さらに「内積と自然法則との関係」の反省が物理学および生理学の研究に大切であることを述べようとする。

1. 内 積

物理学では或る程度数学に頼って推論を進めて新しい物理の経験や法則に到達する。ここに「数学に頼って」というのは「数学的に」ということであって、「数学」と多少区別してその言葉を使用しているのである (Paul Lorenzen, 1962⁷⁾). 数学では零因子というものがある。零因子の例は次の行列で示す通り、それぞれの行列は零でないが、その積が零である。

$$\begin{pmatrix} 2 & 6 \\ 1 & 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 3 & -6 \\ -1 & 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

この計算の仕方は、(i) まず第一の行列の上の行の2と6とを、第二の行列の左の列の3と-1とに、それぞれ掛けて加えると、 $2 \times 3 + 6 \times (-1) = 0$ であって、零となる。(ii) 次に第二の行列の右の列の-6と2とに、それぞれ掛けて加えると、 $2 + (-6) + 6 \times 2 = 0$ であって、零となる。(iii) 第一の行列の下の行の1と3とを、第二の行列の左の列の3と-1とにそれぞれ掛けて加えると零： $1 \times 3 + 3 \times (-1) = 0$ 、(iv) 第一行列の下の行と第二行列の右の列から、 $1 \times (-6) + 3 \times 2 = 0$ で、やはり零をうる。行列の零と数の零とは違うからよいようであるが、広い意味の数を計算する場合に零でないものと零でないものを掛けて零となるのは応用上困るものと見える。それでこれに近いことを応用上避けるのである。

有理数の集合Q, 実数の集合R, または複素数の集合Cでは、それらの元素のあいだに加減乗除の計算法が許されている。このような集合を体という。これらの他に4元数** (Quaternions) も斜体という広い意味の体を形成するが、4元数では掛け算 (乗法) で一般に

$$[p, q] = pq - qp \neq 0$$

であって、乗積の二つの因子を掛ける順序が非可換である。

加え算と引き算とが許されている集合を加群 (Modul, 加法群) と呼ぶことにすれば、加群である上に、掛け算が許されている集合を環 (Ring) という。可換の環で零因子を有しないものを整域 (Integritätsbereich) という。体 (Körper) は必ず整域である。しかしこれから上になって零因子の存在する世界では、割り算が一般にうまくできないから、体を作らない。

ベクトルの計算法はアメリカの J. Willard Gibbs (1839~1903) とドイツの Hermann Grass-

* 岐阜大学医学部生理学教室
Department of Physiology, University of Gifu

** 4元数

$$u = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad i = \begin{pmatrix} \sqrt{-1} & 0 \\ 0 & -\sqrt{-1} \end{pmatrix}, \\ j = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}, \quad k = \begin{pmatrix} 0 & \sqrt{-1} \\ \sqrt{-1} & 0 \end{pmatrix}$$

mann (1809~1877) の研究があつてから物理学に採用されるようになった。前世紀の H. von Helmholtz の Vorlesungen über die Theoretische Physik を見てもベクトルは使っていない。ベクトルの計算に内積 (スカラー積) というものがある。Newton 力学の場合と違って量子力学では P. A. M. Dirac のいうベクトルは複素量および超複素 (仮称) であり、殊に注意すべきは、複素数 (complex number) と違い、この超複素 (hypercomplex) はそれを実数部分と虚数部分とに必ずしも分けることができない。Newton 力学に使用するベクトルをも含めて、当初はベクトルの性質なり、その存在が不明である。ベクトルが光を受けて、ベクトルの存在する空間の座標軸に射影を投じて、やっとその存在が判るのである。次にベクトルの性質はベクトルをいろいろ動かして見て判明する。

さて或る実数の座標軸を持っているベクトル空間を「実数体 R の上のベクトル空間」という。また座標軸の数が n であれば n 次元ベクトル空間と呼ぶ。量子力学では複素数体 C を座標軸に持つから、「複素数体 C の上のベクトル空間」という。座標軸が割り算を許さない環であれば、「環なにかしの上のベクトル空間」と呼ぶわけである。複素数体 C の上のベクトル空間の特長は内積の定義で現われる。いま二つのベクトル u と v とがあるとき、この二つのベクトルの内積¹⁾²⁾⁶⁾¹⁰⁾を $u \cdot v$ で示すことにすれば、内積の定義は次の通りである。

$$u \cdot v = x_i \bar{y}^i, \text{ ただし } x_i \bar{y}^i = \sum_i x_i \bar{y}^i$$

ここに u と v とはその性質がこれから吟味されるものであり、 x と y とは複素数であるとする。 i は座標軸の番号であつて複素数体 C の添字でもある。 x と y とが実数であつても、複素数であつても、複素数体の元素であれば、

$$x_i \bar{y}^i = \bar{y}^i x_i$$

であるから、量子力学では $\bar{y}^i x_i$ と順序を変更して書く。

実数体 R の上の 3 次元ベクトル空間とはふつうの力学のベクトルの集合をいう。これを実ベ

クトル空間 (real vector space) と略称するが、ベクトルが real なのではない。この空間の基底をなす集合が実数であることをいう。 u, v, w の通りにベクトルが違えば文字が違い、座標軸が違えば番号 i が違う。立体幾何学で方向余弦を教えるが、直交軸の場合はベクトルの長さにそれぞれの方向余弦を掛ければ、 x_1, x_2, x_3 となる。二つのベクトルのなす角 φ は、それぞれのベクトルの方向余弦から算出できることも周知の通りである。これらのベクトルが単位の長さを有すれば、

$$\cos \varphi = x_1 y_1 + x_2 y_2 + x_3 y_3$$

であつて、

$$\cos \varphi = x_i y^i = y^i x_i, \quad (i=1, 2, 3)$$

である。またベクトルの二つの方向が互いに垂直であれば、 $\varphi = \frac{\pi}{2}$ であつて、 $\cos \varphi = 0$ であり、 $y^i x_i = 0$ でもある。以上は実数の場合である。もしも座標軸が複素数の集合であればどうなるか。

複素ベクトル空間 (complex vector space) の特殊の場合が Gauss 平面である。Gauss の平面では横軸が実数軸であり、縦軸が純虚数軸である。周知の通りこの平面上の点で複素数を示す。ところが純虚数の軸だというだけである。原点からその複素数の点までの距離を求めるときには、虚数を示す bi ($i = \sqrt{-1}$) の i を取り去り、 b だけを考える。このことは便宜的な方法にすぎない。この距離はベクトルの長さであり、複素数の絶対値である。共役複素数をここに導き入れることは複素数の絶対値の計算に大切であつて、複素数 α に対してその共役複素数を $\bar{\alpha}$ (アルファ・バー) で示せば、絶対値の二乗 (Norm, ノルム) が $|\alpha|^2 = \alpha \bar{\alpha}$ となる。これは $\alpha = a + bi$, $\bar{\alpha} = a - bi$ とすれば、 $(a + bi)(a - bi) = a^2 + b^2$ となることから判る。

ベクトルの内積の定義に使用した \bar{y}^i のバーという \bar{y}^i の頭にある横棒は \bar{y}^i が y^i の共役複素数であることを示している。

この定義で $y_i = x_i$ とすれば、 $\bar{x}^i x_i$ はベクトルの長さの二乗、すなわちベクトルのノルム

を示す。また添数 i は x や y の右下に付けても、右肩に付けてあっても同じ意味であって、座標軸の番号、すなわち、複素数体 C の番号を示すものとする。ふつう右肩に付けてあれば「乗べき」を示すものであるが、ここでは特に座標軸の番号と約束する。また α が偶然に実数であっても、その場合には $\alpha = \bar{\alpha}$ であるから、 $|\alpha|^2 = \alpha\bar{\alpha}$ という定義がもとのまま使用できる。後で、利用するが $\alpha = \bar{\alpha}$ ということは α が実数であるという証明である。ここに α の絶対値を $|\alpha|$ で示した。 $|\alpha| = |\bar{\alpha}|$ である。

こういうわけでベクトルのノルムを $\alpha\bar{\alpha}$ とするという定義は実数の場合の a^2 の定義の拡張であって、内積はさらにこれの拡張である。それを単純に $y_i x_i$ と拡張すれば、Gauss 平面上の点 (a, ai) についてすら、そのノルムは $a^2 + (ai)^2 = 0$ であり、原点からの距離が零となる。零となっても規約として採用して差支えない筈であるが、量子力学は内積の定義にこの規約を採用しない。こうして物理学は単なる論理の世界から自然法則の世界にはいったのである。これは自然に対する一種の法律であって、何もそうしなければならないというのではない。しかしひとたび内積をこのように定義すれば、いわば憲法を制定したことに準じる。そしてまたこの憲法が大変よくできていることが、これを使えば判るのである。

前項においてベクトルの内積を求めるのに、実ベクトル空間の場合通りに、それを仮りに $\alpha_i \alpha^i$ とすれば、複素ベクトル空間の座標軸への射影が零でないのに、ベクトルの長さが零となる場合を生じると述べた。筆者は少年の時に Adelbert von Chamisso の Peter Schlemihls wundersame Geschichte (影を売った人の話) を読んだ。悪魔に自分の影を売った Peter Schlemihl は、燈火の近くに寄って、自分に影のないことを人が発見し、怪しむのを恐れなければならなかった。いまの場合はそれと反対に射影は残っているが、その実体の長さが零であるというのである。量子力学が数学と共に共役複素数を考えに入れて内積を定義したことは、思惟

の正しさを示すものであるか、あるいは思惟の暫定的制限を示すものか、そのいずれかであろう。注意として、最初に当ってはベクトルという言葉があっても、そのままでは計算がつかないものである。

II. 直 積

複素ベクトル空間のベクトルと実ベクトル空間のベクトルとの性質の差異は分配律に著しく明らかに現われる。それは左分配的と右分配的の差別があることその他に、左分配のときに共役数が現われて来るからである。まず複素ベクトル空間のベクトル計算について、次の四つの性質がある。

- (1) $v \cdot w = \overline{(w \cdot v)}$, 註 1)
 (2) $v \cdot v \geq 0$ であり、このうち $v \cdot v = 0$ であることは $v = 0$ の時にのみ限る。

(3) 右分配の法則：

$$(au + \beta v) \cdot w = \alpha(u \cdot w) + \beta(v \cdot w),$$

(4) 左分配の法則：

$$u \cdot (\alpha v + \beta w) = \bar{\alpha}(u \cdot v) + \bar{\beta}(u \cdot w),$$

(3) と (4) の α と β は一般に複素数である。

これには説明を省いたところがあるから、実ベクトル空間のベクトルに戻って説明を始めよう。実ベクトル空間ではベクトルの内積を考えても x_i と y_i とは実数であるから、 $x_i y^i = y_i x^i$ であって、 $u \cdot v = v \cdot u$ となり、内積ではベクトルは可換である。次に α と β とを実数 a と b であるとして、分配律は

$$(5) u \cdot (av + bw) = a(u \cdot v) + b(u \cdot w)$$

で示される。点はベクトルの内積の記号であって落してはいけない。(5) の a や b 、また (3) と (4) の α や β をベクトルに掛けることは、点を付けしないで、連記して示してある。この分配の場合には (5) では実数の集合 F の元素 a, b とベクトルの集合 V の元素 u, v, w とに av と

1) 内積は複素数であるから、その共役複素数を求めることができる。 $(w \cdot v)$ にその意味で共役の記号を付けた。 v と w が後に述べるケット・ベクトルやブラ・ベクトルであれば共役の記号を付けない。

か bw という外結合を行なっている。実数の集合 F 内の元素の演算は内結合の法則にしたがい、ベクトルの集合 V の元素の演算も加法を考えれば判る通り、 V 内部の内結合の法則にしたがうが、 F の元素と V の元素とをならべて直積を作ることは、異なる集合のあいだの外交問題であるから外結合と称する。いまの場合には掛け算に意味を持たせることができる。 $a \in F$, $v \in V$ として、 a と v との組合わせを (a, v) とすると、 a と v とをいろいろ変えて (a, v) という組合わせを変えることにすれば、 (a, v) の集合 D をうる。外結合の法則が掛け算であって、 D の元素の像を V の中に見出すことができる。 a と v との合成 (composé) ともいう。組合わせた結果が合成である。また (5) については、それぞれの座標軸について、

$$\eta_i = ay_i + bz_i,$$

$$\begin{aligned} u \cdot \eta &= x_i (ay_i + bz_i) = x_i ay_i + x_i bz_i \\ &= ax_i y_i + bx_i z_i \\ &= a(u \cdot v) + b(u \cdot w) \end{aligned}$$

の通りに成立するからで、内積の定義によれば、異なった座標軸の成分が交叉して掛かることがない。複素ベクトル空間のベクトルの場合には、(3) は

$$\begin{aligned} \xi_i &= \alpha x_i + \beta y_i \\ \xi \cdot w &= \xi_i \bar{z}_i = (\alpha x_i + \beta y_i) \bar{z}_i \\ &= \alpha x_i \bar{z}_i + \beta y_i \bar{z}_i = \alpha(u \cdot w) + \beta(v \cdot w) \end{aligned}$$

であり、(4) は

$$\eta_i = \alpha y_i + \beta z_i, \quad \therefore \bar{\eta}_i = \bar{\alpha} \bar{y}_i + \bar{\beta} \bar{z}_i$$

として、

$$\begin{aligned} x \cdot \eta &= x_i \bar{\eta}_i = x_i (\bar{\alpha} \bar{y}_i + \bar{\beta} \bar{z}_i) \\ &= x_i \bar{\alpha} \bar{y}_i + x_i \bar{\beta} \bar{z}_i = \bar{\alpha} x_i \bar{y}_i + \bar{\beta} x_i \bar{z}_i \\ &= \bar{\alpha}(u \cdot v) + \bar{\beta}(u \cdot w), \end{aligned}$$

\bar{y}_i の代わりに量子力学では y_i^* の通り、* (星印, アスタリスク) を付けることも多い、また内積 $\varphi \cdot \varphi = \varphi_i \bar{\varphi}_i$ を $\varphi^* \varphi$ と書くことがふつうである。すなわち $u \cdot v$ を $v^* u$ と書く。

さて本項Ⅲの初めに戻って、(1) を考えるのに

$$\begin{aligned} v \cdot w &= y_i \bar{z}_i \\ \overline{(w \cdot v)} &= \overline{z_i \bar{y}_i} = y_i \bar{z}_i = v \cdot w \end{aligned}$$

である。(2) はベクトルのノルムが負にならぬように決めたものである。殊に $v=0$ の時以外はノルムが零とならない。

Ⅲ. ブラ・ベクトルおよびケット・ベクトル

内積 $u \cdot v = \bar{y}_i x_i$ で判る通り、ブラ・ベクトル (bra-vector 略称ブラ) は行ベクトルで、ケット・ベクトル (ket-vector 略称ケット) は列ベクトルで表示できる。すなわち

$$u = \{x_1, x_2, \dots\}, \quad \text{ケット}$$

$$v = (\bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots), \quad \text{ブラ}$$

である。Dirac³⁾ は u の種類の列ベクトルを $|A\rangle$ と記号し、 v の種類の行ベクトルを $\langle B|$ で記号した。 x_i も y_i も複素数であって、ケット $|A\rangle$ に複素数を掛けたり、互いに加え合わせることもできる。それゆえ

$C_1 |A\rangle + C_2 |B\rangle = |R\rangle$, C_1, C_2 : 複素数
を作ることができるし、さらに進んで、

$$\int |x\rangle dx = |Q\rangle$$

のようにケット (またはブラ) を積分した結果が、ケット (またはブラ) であることが判る。 $|A\rangle$ と $\langle A|$ とは互いに共役であるとする。これは記号の使用法を約束したものである。こう約束すれば、 $\langle A|A\rangle > 0$ となり、一般には $\langle B|A\rangle = \overline{\langle A|B\rangle}$ であることは行および列ベクトルの各元素に戻って考えれば明瞭である。たとえば、

$$|A\rangle = \begin{pmatrix} 2i \\ 3 \end{pmatrix}, \quad \langle B| = (\bar{4i}, \bar{5})$$

とすれば、

$$\begin{aligned} \langle B|A\rangle &+ \overline{(\bar{4i}, \bar{5})} \begin{pmatrix} 2i \\ 3 \end{pmatrix} \\ &= (-4i, 5) \begin{pmatrix} 2i \\ 3 \end{pmatrix} = 8 + 15 = 23 \end{aligned}$$

ブラおよびケットには共役の記号を付けない。この理由はすぐ後にでてくる。 $\langle A|B\rangle$ は複素数となるから、その共役を考えることができる。それで $\overline{\langle A|B\rangle}$ と記号を付けた。

念のために、 A と B との二つの行列が次の通りであれば、

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \cdots a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} \cdots a_{2n} \\ \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} \cdots a_{nn} \end{pmatrix},$$

$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \cdots b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} \cdots b_{2n} \\ \cdots & \cdots \\ b_{n1} & b_{n2} \cdots b_{nn} \end{pmatrix},$$

A と B との積 AB は次のとおりである：

$$AB = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} \cdots c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} \cdots c_{2n} \\ \cdots & \cdots \\ c_{n1} & c_{n2} \cdots c_{nn} \end{pmatrix}.$$

ただし、

$$c_{ij} = a_{i1}b_{1j} + \cdots + a_{in}b_{nj} = a_{ie}b_{ej}$$

そして列ベクトルは次の通り行列の一つの列

$\begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{pmatrix}$ だけを書いたものであり、乗法では 0 を必要な数だけ右方へ補って、列ベクトルを正方形の行列になおして計算に使用するものと約束する。これを $\{d_1 d_2 \cdots d_n\}$ と無理に横に書くこともある。

行ベクトルは次の通り行列の一つの行だけを書いたものである：

$$(e_1 \ e_2 \ \cdots \ e_n)$$

乗法ではこれにも必要な数の 0 を下方に補って行ベクトルを正方形の行列になおして計算に使用するものと約束する。

Dirac のように $|A\rangle$ に施す一次演算子を α で示すとすれば、 $|F\rangle = \alpha|A\rangle$ を満足する α は複素数を元素とする行列でよい。それは

$$\begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{11} \\ a_{21} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_{11} a_{11} + \alpha_{12} a_{21} \\ \alpha_{21} a_{11} + \alpha_{22} a_{21} \end{pmatrix}$$

であるからである。また $\langle P|\alpha$ を考えれば

$$\begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} \end{pmatrix} \\ = (p_{11}\alpha_{11} + p_{12}\alpha_{21} \quad p_{11}\alpha_{12} + p_{12}\alpha_{22})$$

である。それゆえに $\langle P|\alpha = \langle Q|$ 、すなわちブラである。Dirac は α をブラ $\langle B|$ に施した結果えられるブラを表わす記号としては $\langle B|\alpha$ が適当であるとする。

$|A\rangle \langle B|$ のとおりにケットを左側に、ブラを右側に置いた積は

$$\{x_1 \ x_2 \ \cdots\} \{y_1 \ y_2 \ \cdots\}$$

であるから、これは行列を表わし、一次演算子

である。

Dirac によればブラおよびケットは、それを実数部分と虚数部分とに分けることのできない特別な性質の複素量である。実数部分と虚数部分とに分けうる、複素数を含む、複素量に対してはその双対ベクトルを‘共役複素’ (conjugate complex) という言葉で示し、その量自身とその共役複素との和の半分をとれば、その実数部分を求めることができる。だがブラおよびケットは複素量と全く異なった型のベクトルであって、Dirac はブラとケットの和を考えることができないという。

Dirac はこれらの双対ベクトルに対して共役虚 (conjugate imaginary)³⁾⁴⁾ という言葉を用いる。ケットを列ベクトル、ブラを行ベクトルと Dirac が定義したのではない。判り易いために筆者が捌め手から案内したもので、詳細は Dirac の書³⁾⁴⁾ を参照のこと。

IV. 固有値と固有ベクトル

α を既知の 1 次演算子、 a を実数または複素数として次の方程式

$$\alpha|P\rangle = a|P\rangle \quad (6)$$

を満足する a と $|P\rangle$ とを選びたい。

Dirac は $|P\rangle$ は複素数を掛けても、その方向が変らないが、零を掛ければ方向が無くなるを考える。方向が無くなるのは零を掛けたときだけであって、一般に演算子 $\alpha (\neq 0)$ をケットに掛ければ、長さや方向が二つとも変わる。その筈であるが、特別に α に適合した a と $|P\rangle$ とがあって、方程式 (6) を満足させることができる。それであるから (6) が満足されていれば、 a を 1 次演算子 α の固有値 (Eigenvalue)、 $|P\rangle$ を 1 次演算子 α の固有ケットと呼び、そのとき $|P\rangle$ は a に属しているという。またブラ・ベクトル $\langle Q|$ の方程式 (7) についても

$$\langle Q|\alpha = b\langle Q| \quad (7)$$

α に関係して、固有値と固有ブラが存在する。

Dirac は α が実の 1 次演算子であれば、量子力学に有用な結果がでてくるといふ。すなわちこの実の 1 次演算子を ξ で示すとして、(6) と

(7) とは書きなおして

$$\xi|P\rangle = a|P\rangle \tag{8}$$

$$\langle Q|\xi = b\langle Q| \tag{9}$$

となるから、

(i) 固有値はすべて実数である。

(ii) 固有ケットに伴う固有値は、固有ブラに伴う固有値と同じである。

(iii) どんな固有ケットであってもよい、それに共役虚 (conjugate imaginary) であるベクトルは同じ固有値 a に属する固有ブラであり、この逆も成り立つ。

方程式 (8) の解を求めるときに固有値が a 唯一つとは限らない。そこで実の 1 次演算子 ξ の固有値を Dirac にしたがって便宜上 ξ', ξ'', ξ^r , などと記すことにすれば、 ξ', ξ'' などはただの実数であり、プライムなどのない、 ξ は実の 1 次演算子である。また Dirac は固有ベクトルにはそれが属する固有値を目印にかきこんだ $|\xi'\rangle, |\xi''\rangle$, その他を利用する。これについてはある実の 1 次演算子の異なる固有値に属する二つの固有ベクトルは直交するとの直交性定理がある。

さて具体的に実の 1 次演算子を与えて、固有値と固有函数を算出する問題は一般にはむつかしい。1 次演算子を行列で表示できると仮定しておけば、次のとおりに話を進めうる。

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \tag{1}$$

行列 A の行と列とを取り換えたものを \tilde{A} で記し、 A の転置行列と呼ぶ。これは (2) で示す構造をもっているが、 a_{11}, a_{22}, a_{33} を貫く軸を π だけ回転させたときの行列の元素の配置を

とっている。

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{pmatrix}$$

一般には $A \neq \tilde{A}$ であるが、もう一ぺん軸を π だけ回転させればもとに行列が戻る。それゆえ、 $A = \tilde{\tilde{A}}$ である。

2 次形式の行列を考えることができる。これは $a_{11}x^2 + 2a_{12}xy + a_{22}y^2$ を 2 次元的にならばかえて

$$\begin{cases} a_{11}x^2 + a_{12}xy \\ + a_{12}xy + a_{22}y^2 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} a_{11}x_1x_1 + a_{12}x_1x_2 \\ + a_{21}x_2x_1 + a_{22}x_2x_2 \end{cases}$$

として見れば

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \quad \text{ただし } a_{12} = a_{21}$$

また 2 次形式であることを $A(x, x)$ と記すことも多い。2 次形式は 2 次曲線や 2 次曲面の幾何学に関係が深い。量子力学では複素数体 C の上のベクトル空間を扱うもので、この場合の x は複素数である。それで前述の 2 次形式の代わりに Hermite 2 次形式が登場する。Hermite 2 次形式は Hermite 形式とも呼び、 \bar{x} を x の共役数とすれば、それは

$$A(x, \bar{x}) = \sum_{i,j=1}^n a_{ij}x_i\bar{x}_j, \quad a_{ij} = \bar{a}_{ji}$$

のことをいう。また a_{ij} は一般に複素数であり、行列

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}$$

を Hermite 行列という。前に正方形行列の行と列とを交換する回転軸を考えた。これは主対角線 (principal diagonal) と呼ばれ、主対角線上の元素 $a_{11}, a_{22}, a_{33} \dots$ は実数、主対角線に関して対称の位置を占める元素 a_{ij} と a_{ji} は互いに共役な複素数である。その他 Hermite 形式の全体としての特長は変数の任意の値に対して Hermite 形式が実数値をもつことである。すなわち

$$\bar{A}(x, \bar{x}) = A(x, \bar{x})$$

であることを容易に証明できる。また Hermite 行列 A の行列式 $|A|$ も実数である。

さて

$$A(x, \bar{x}) = x_i \bar{x}^i, \quad A = E$$

の形を不変とする一次変換を P とすれば

$$\bar{P} A \bar{P} = A, \quad A = E$$

$$P = \begin{pmatrix} \bar{p}_{11} & \bar{p}_{12} & \bar{p}_{13} \\ \bar{p}_{21} & \bar{p}_{22} & \bar{p}_{23} \\ \bar{p}_{31} & \bar{p}_{32} & \bar{p}_{33} \end{pmatrix}, \quad \bar{P} = \begin{pmatrix} \bar{p}_{11} & \bar{p}_{12} & \bar{p}_{13} \\ \bar{p}_{21} & \bar{p}_{22} & \bar{p}_{23} \\ \bar{p}_{31} & \bar{p}_{32} & \bar{p}_{33} \end{pmatrix}$$

$$E = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

そこで

$$\sum_{s=1}^n \bar{p}_{s i} \bar{p}_{s j} = \delta_{ij},$$

として

$$\begin{aligned} \delta_{ij} &= 1, \quad i=j \text{ のとき,} \\ &= 0, \quad i \neq j \text{ のとき} \end{aligned}$$

Kronecker の δ と δ_{ij} を呼ぶ。 $A=E$ としたものは $A(x, \bar{x}) = x_i \bar{x}^i$ のときに主対角線上の元素が 1 であり、他の元素が零であるからである。このとき

$$\bar{P} E \bar{P} = E \rightarrow \bar{P} E P = E$$

であるが $\bar{P} = \bar{P} = P^\dagger$ であり、ダガー (dagger) の記号は \sim および $-$ の両方を順に行なう記号である。 \sim は行列の転置、 $-$ は共役の記号であり、量子力学では $*$ をも共役複素数をとる記号として併用する。しかし \sim の代わりにダッシュ ($'$) を使用したり、 T を上ツケすることも行なわれるだけでなく、ダガーの代わりに $*$ 印を使用する人もあるから注意しておく。

さて A が Hermite 行列であれば、 $A^\dagger = A$ であるから、

$$\begin{aligned} X &= P^\dagger A P \rightarrow X^\dagger = P^\dagger A^\dagger P \\ &= P^\dagger A P = X \end{aligned}$$

そこで Hermite 行列を $P^\dagger \circ P$ と変換してえた行列は再び Hermite 行列である。この $P^\dagger \circ P$ 変換をユニタリ変換といい、 $P^\dagger = P^{-1}$ である。

重要なことは、Hermite 形式

$$A(x, \bar{x}) = \sum a_{ij} x_i \bar{x}_j$$

がユニタリ変換 $(x) = P(X)$ によって、標準形式 $\rho_i X^i \bar{X}_i$ になおるものであれば、勝手な乗数 ρ に対し

$$A(x, \bar{x}) - \rho x_i \bar{x}_i = (\rho_i - \rho) X^i \bar{X}_i,$$

よって左辺から次の行列の行列式をうる。これは ρ についての n 次の式であるから、 ρ の函数である。

そこで

$$\varphi(\rho) = \begin{vmatrix} a_{11} - \rho & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} - \rho & & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} - \rho \end{vmatrix}$$

となり、これは次のとおりに置くことができる：
—

$$\varphi(\rho) = (a_1 - \rho)(a_2 - \rho) \dots (a_n - \rho) = \Pi(a_i - \rho)$$

$a_i (i=1, 2, \dots, n)$ は $\varphi(\rho) = 0$ の根である。

さて右辺から次の行列の行列式をうる。

$$\begin{vmatrix} \rho_1 - \rho & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \rho_2 - \rho & \dots & 0 & & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \\ 0 & & & & & \rho_n - \rho \end{vmatrix}$$

$$= \Pi(\rho_i - \rho)$$

ここが肝心な点であるが、もしも

$$\varphi(\rho) = \Pi(\rho_i - \rho)$$

と置くことができるならば、 $\rho_i = a_i$ であって、 ρ_i を求めることができる。

複素数を座標軸とするベクトルを他のベクトルに変換する場合に Hermite 変換以外にはベクトルの絶対値を零以外の実数に保つ変換はない。零因子が存在するからである。

V. 内積と確率

内積と確率との結びつきは物理的のものであって、de Broglie の波動関数の絶対値の2乗が空間にひろがった物質の密度を与えるとの考えと物質の粒子性の考えとが矛盾しないようにするために、Schrödinger 関数 φ の2乗は空間の1点を囲む $dx dy dz$ という微小体積中に粒子が存在することの相対的確率を与えるとする。R. P. Feynman (1965)⁵⁾ によれば $\langle | \rangle$ は確率振幅に対応し、 \triangleright は初めの状態を、 \triangleleft は終わりの状態を示すのである。例えば湧き口 (source) S から発射された或る一つの粒子が出口 (sink) x に到着する確率は或る複素数のノルム (absolute square) で代表される。これを確率振幅という。

この記法によると量子力学⁹⁾ という光子のおおる二つの小孔が壁にならんでいる場合には

$$\begin{aligned} \langle x | S \rangle & \text{both holes open} \\ & = \langle x | S \rangle_{\text{through 1}} + \langle x | S \rangle_2 \\ \langle x | S \rangle_{\text{via 1}} & = \langle x | 1 \rangle \langle 1 | S \rangle \\ \langle x | S \rangle_{\text{via 2}} & = \langle x | 2 \rangle \langle 2 | S \rangle \\ \langle x | S \rangle_{\text{both}} & \\ & = \langle x | 1 \rangle \langle 1 | S \rangle + \langle x | 2 \rangle \langle 2 | S \rangle \end{aligned}$$

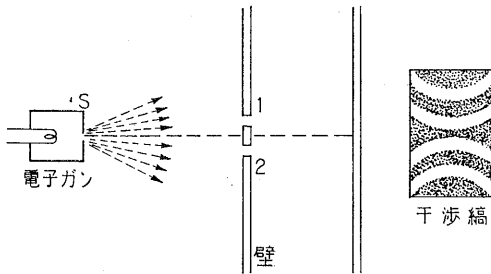


Fig. 1.

内積は確率をとおして統計力学に現われてく

る。内積に関係した重要な法則としては、

- (i) $\langle j | i \rangle = \delta_{ji}$,
- (ii) $\langle \chi | \varphi \rangle = \sum_{\text{all } i} \langle \chi | i \rangle \langle i | \varphi \rangle$,
- (iii) $\langle \varphi | \chi \rangle = \langle \chi | \varphi \rangle^*$

などがある。仮りに (iii) が真でないとするれば、確率が保存されないで、粒子の散逸があることになる。これらの法則の計算による証明は容易である。

(その他 Feynman (1965)⁵⁾ 参照のこと)

以上のとおり筆者は章をわけて、I 「内積」では、内積の定義の拡張と複素ベクトル空間におけるベクトルの考え方、II 「直積」では、複素ベクトル空間のベクトルと実ベクトル空間のベクトルとの性質の差違、III 「ブラ・ベクトルおよびケット・ベクトル」、IV 「固有値と固有ベクトル」では、二次形式について説明した。ブラ・ベクトルおよびケット・ベクトルが内積で関係付けられること、あるいはそれから固有値および固有ベクトルの概念が簡明に導びかれることは Dirac の工夫による。また二次形式を内積の拡大と考えてよいこと。V 「内積と確率」では、内積が確率をとおして広い応用の領域を持っていることを説明した。もとより、ここにいる内積は複素数をその計算の因子としているものであり、複素数体の上に立つベクトル空間の考えが物理学今世紀の発展を促したとも思われる。

A: 「観察や実験には正しい思惟をとまねかねばならない」とは40年前の橋田邦彦先生の言葉であった。この観察や実験とは自然科学を研究する活動のただ中の経験を指すものであり、正しい思惟とはこの活動の中に同時に存在する思惟をいうと思う。西田幾多郎博士⁸⁾ によれば、「その互いに異なっている方面をいって見れば、いわゆる経験というもの、すなわち知覚というものは経験の統一の方面の著しきものであって、思惟というものは差別の方面の著しきものである。」また「思惟というものは経験が発展するのに必要な一つの過程である」という。

西田博士は経験と思惟とを単純に双対 (dual) な流動と考えているのではない。両者は分けることのできない一つの流動であると考えていると思う。このような研究領域にあっては、物理学も生理学もまた他の学問も互いに研究し合うべきもので、物理と生理のいまだ未剖の問題が含まれている。

B: 田辺元博士は批判とは事実を予想してその権利根拠を問うことを指すという。筆者は I において内積 (スカラー積) が定義であり、憲法に較べるべき立法であると述べ、その後、この内積が量子力学に大きい活動をしていることを説明した。しかし、定義は或る場合には思惟の発展を抑制するものでなかろうか。そうとすれば、「内積と自然法則との関係」を数学の公理体系の背後の意味を研究する数理哲学とか、または P. Lorenzen の仮称する Metamathematik などに似た立場から、それを吟味することは意味があると考え。それは前項 A における純粹論理の研究から発生する問題でもなく、また物理学に深く関係はするが、物理学だけで解明できうる問題でもない。一般の数学に対する数理哲学ではなく、「数学の自然に対する応用とは何であるべきか」を問題とする研究である。

量子力学にはいくつか数学上大切な事項があり、内積はその一つに過ぎない。しかし、これをその第一の特長としたことは、単に量子力学講述の技術だけから見ても意味がある。というのは、量子化学その他の応用が益々盛んとなり、その程度が高級となるにつれ、量子力学を簡明に、しかも正則に講述する必要を生じたゆ

えである。本篇が多少それに役立ち、進んでは物理学や数学の応用を語る時に、この「応用」の意味に多数の段階があることを理解して戴くことができれば、非常に倅いである。

(1967. 10. 1 記)

橋田先生の著書および論文は東京大学名誉教授若林勲君の蔵書によった。同君不断の御厚情に謝意を表わす。

文 献

- 1) Bourbaki, N. (1964) Structures Algébriques. p. 1. Algèbre. Éléments de Mathématique. 2 ième Éd. Herman Cie.
- 2) Chatlet, A. (1956) Arithmétique et Algèbre Modernes. Tome 2. p. 352. Presses Universitaires de France
- 3) Dirac, P. A. M. (1958) Principles of Quantum Mechanics. p. 19. 4 th Ed., Oxford University Press
- 4) ディラック (1947) 量子力学 第 3 版 頁 27. (朝永振一郎ほか訳) 1954 年刊行 岩波書店 (共役虚の訳語はこの書による)
- 5) Feynman, R. P. et al. (1965) The Feynman Lectures on Physics. Vol. 3. p. 3-2. Addison-Wesley Publishing Co.
- 6) Greub, W. H. (1967) Linear Algebra. p. 68, 182. 3 rd Ed., Springer-Verlag
- 7) Lorenzen, P. (1962) Metamathematik. S. 1. Bibliographisches Institut
- 8) 西田幾多郎 (1953) 哲学概論 頁 202. 岩波書店
- 9) 坂田昌一 (1967) 量子力学 頁 8 岐阜大学生理学教室 室内—「生理学者を主対象とする 物理学基礎講習会」テキスト
- 10) van der Waerden, B. L. (1966) Algebra. Teil 1. S. 69. 7 te Aufl. der Modernen Algebra. Springer Verlag

〔原著〕 動的収縮中に発現する **Silent Period** について 612.743

小野 三 嗣・大 和 真・尾 谷 良 行・
坪 田 修 三・倉 田 博・岩 垣 丞 恒・
高 橋 泰 光*

Study on the silent period in the dynamic contraction

Mitsutsugu Ono, Makoto Yamato, Yoshiyuki Otani, Syuzo Tsubota, Hiroshi Kurata, Suketsune Iwagaki, and Yasumitsu Takahashi (*Department of Physiology, The Jikei University School of Medicine*)

The silent period of electromyogram on flexion of human upper extremities was studied in relation to eccentric and concentric contractions. The following results of the experiment were obtained.

1. The silent period in eccentric contraction appeared frequently at slow movements under large load.
2. In the fast concentric contraction under small load the silent period appeared at the early stage and lasted for a long time. Under the suitable experimental condition it always appeared.
3. The silent period in concentric contraction was much longer than that in eccentric contraction.
4. Under small load the silent period appeared even if the speed of muscular contraction was slow. Under large load it did not appear so often even at the higher speed of contraction.
5. The silent period in *m. deltoideus* was longer than that in *m. triceps brachii*. The silent period in *m. triceps brachii* was observed very often in spite of the considerably wide change of experimental conditions.
6. The action potential of *m. triceps brachii* appeared after 30 msec from the beginning of the silent period in *m. biceps brachii*.
7. The silent period observed in boys (11 years of age) was different from that in male adults, e. g. the former had little relationship with the speed of muscular contraction and was often an incomplete type.

[*J. Physiol. Soc. Japan* (1968) 30, 86-95]

I. 緒 言

Leksell¹⁾ (1945) の命名した γ 線維の随意運動系における役割は servo-control に要約されているが、運動生理学上興味ある問題の一つは Merton²³⁾ (1950, 1951) によって、その意義の検討がおこなわれた筋電図上の silent period である。Matthews⁴⁾ (1964) によれば silent period は幾つかの要因によってひきおこされるものであり、筋紡錘の役割はその一つにすぎない。少なくとも α 運動線維に対して抑制的な impulse を送る Renshaw 細胞や Golgi 腱器官

に発する第一群 b 感覚神経をとおしての抑制が関与しうることは推定に難くない。

Angel, Eppler および Iannoni⁵⁾ は Renshaw 細胞 Golgi 腱器官から α 運動線維への synchronous discharge を避けて筋紡錘からの衝撃による silent period を純粹に記録するために、定負荷がかけられている等尺性収縮状態から、急激に無負荷にしたときの等張性収縮を用いている。そして単に無負荷にただけで、その後引きつづく筋の短縮を生じさせないような実験条件下では silent period が生じないことなどから、この場合の silent period は筋紡錘性のものであると結論している。

予め筋に等尺性収縮を生じさせておいた状態から、急激に解放して等張性収縮に移行させる

* 東京慈恵会医科大学第 1 生理学教室
〔昭和42年10月11日受付〕

ということは、猪飼等⁶⁾が考案している慣性エルゴメーターによる power の測定では生じうるが実際運動の場では殆んどみられない。上述の動作において同側筋に silent period が生じることは、Smith および Whitley⁷⁾が pretensed strength の測定条件からの解放直後、neuromotor program の中絶が起り、restarting movement reaction が必要になることを検証したことに符合する。

このように、silent period が、実際運動の場では見られないような、特殊条件下においてのみ生じるものであるならば、いわゆる運動生理学の応用的立場では問題とするに足りないことになる。

そこで、本実験では、一般の動的収縮状態特に eccentric contraction ならびに concentric contraction およびその移行期に生じる silent period を記録し、その運動生理学上の意義を吟味してみた。

Ⅱ. 方 法

被検者は健康な青年男子、女子、11才の学童それぞれ3名づつ、計9名である。

被検者は写真1に示すような坐位をとらせ、すべての動作は肘関節角度 90° の状態から開始するようにした。

Active type としたのは、肘関節角度 90° の状態から肘関節を屈曲する運動であり、passive type としたのは肘関節 90° 屈曲位にある手に急激な負荷を与えた場合これに対応する上肢の動作に関したものである。いずれの場合も、後に示す筋電図の pattern より知ることができるように、条件づけがなされる以前の状態は少くと

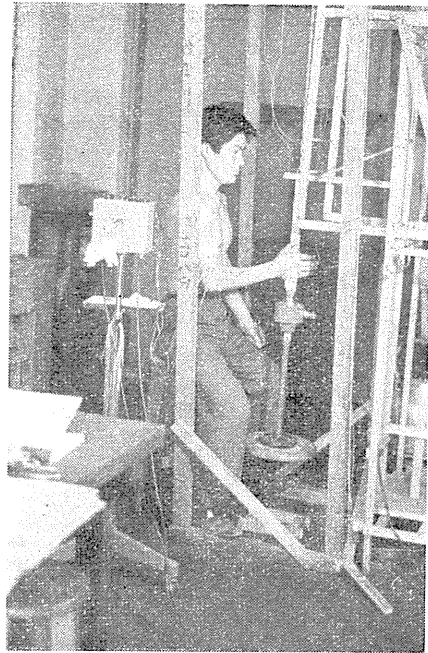


Photo 1

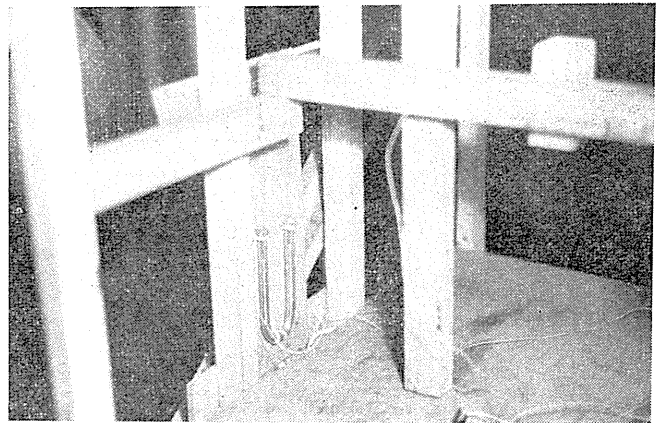


Photo 2

も活動電位は記録されない。すなわち pretensed strength からの解放という条件にはおかれていない。

第1の実験条件は青年男子被検者による無負荷状態から 15 kg までの落下重量負荷に対応する動きである。第2の実験は 5 kg, 10 kg, 15 kg の重量落下時、これを受けとめ、元の手の位置にまで手をもどそうとする動きを全く行なわせ

ないという場合から、各種の速度で元に戻そうとする動作を行なわせることである。第3の実験は無負荷および 5 kg, 10 kg, 15 kg に対する active type の動作で、手を目標位置まで引き上げる速度を数種に変化させた場合のものである。第4の実験は active type の無負荷状態の特殊なものとして、筋緊張をできるだけ緩解させるため、挙上した大腿上に前腕を静置した状態から動作をおこさせたものである。

第5の実験は青年女子によるものであるが 4.0 kg, 6.5 kg, 9.0 kg に対する passive type と active type の動きについて記録した。

第6の実験は11才の男子によるもので、2 kg, 4 kg の各重量について、passive および active の両者の観察を行なった。

以上の各実験のいずれの場合も、筋電図は、三角筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋から誘導し、他に手の動きを示す機械曲線と、strain gauge による張力発生を合せ記録した。

記録装置には polygraph を使用した。筋電図は直径 1 cm の銀板を用いる皮膚表面誘導法によった。手の動きを知るための機械曲線記録

は、水銀槽中を、手の動きに直結して動くニクロム線を出入させ、電気抗抵の変化として同時記録した(写真2)。張力曲線の記録は写真1に示すように、strain gauge 利用のトランスジューサーを、手と荷重との間に直結しておこなった。荷重にはパーベル用の錘を用いた。

なお、記録紙の送り速度は、すべて 250 mm/sec とした。

III. 結 果

実験1の場合の実例を図1に示した。図の最上の線は筋の張力の消長を示す。負荷重量がある場合は、その重量によって strain gauge が牽引される結果、その重量に相当するぶんだけ基線から上方に曲線が移動する。手に巻きつけられたバンドの吊り金が、電気的にはずされた結果、そのバンドは直結された重量によって牽引され、手が下方に押し下げられる。その手には間もなく、重量物を支え、元の位置に復帰しようとする動きが生じる。その結果反動的に元にもどろうとして筋中に生じる収縮力と落下しようとする負荷の加速度とが加重され、負荷

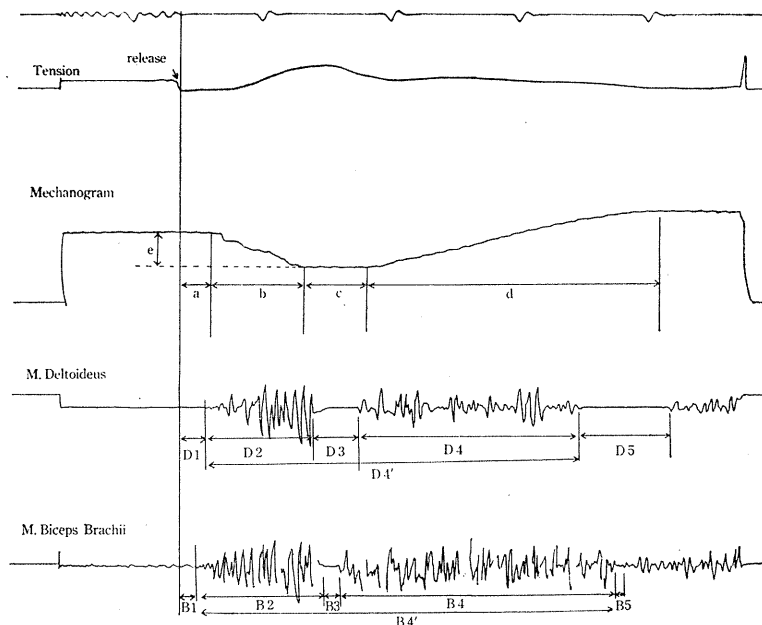


Fig. 1. Typical example of passive type recording.

Table 1

Loading Weight (kg)	Mechanogram				M.Deltoideus (msec)				M.Biceps Brachii (msec)			
	b msec	c msec	d msec	e cm	D2	D3	D4' or D4	D5	B2	B3	B4' or B4	B5
15	254.5	120.2	424.0	16.0	59.0	45.7	(653.0)	(40.0)	(68.0)	(36.0)	—	—
14	264.8	112.5	400.4	18.4	(80.0)	(41.3)	(585.0)	(28.3)	—	—	—	—
13	221.5	97.5	323.2	15.4	(84.0)	(40.0)	419.7	68.9	—	—	(488.0)	(46.7)
12	212.5	107.5	303.0	15.3	(88.0)	(34.0)	402.6	67.7	—	—	486.7	40.4
11	202.0	97.6	251.2	14.0	—	—	373.4	88.8	—	—	395.5	34.0
10	198.0	75.2	235.2	13.3	—	—	305.8	91.6	—	—	348.1	42.2
9	165.6	73.2	226.4	12.0	—	—	232.6	94.4	—	—	292.0	52.0
8	164.4	72.0	218.8	12.1	(110.7)	(46.7)	192.4	82.4	—	—	260.4	46.0
7	154.4	64.4	194.2	11.0	—	—	202.0	88.4	—	—	207.5	56.8
6	159.6	57.2	195.6	12.0	—	—	162.0	104.4	—	—	205.2	50.8
5	139.4	59.4	160.5	9.9	—	—	138.0	108.8	(200.0)	(24.0)	164.2	54.7
4	123.0	56.0	159.2	9.5	—	—	123.2	105.8	—	—	147.4	44.7
3	109.6	46.4	130.0	7.1	—	—	88.4	98.4	—	—	109.6	57.6
2	91.2	47.1	122.5	4.6	—	—	85.9	89.9	—	—	94.8	53.4
0	110.5	51.5	131.3	7.3	—	—	(96.8)	(95.0)	—	—	(103.5)	(39.2)

重量の2倍に近いような張力がえられることになる。これは間もなく負荷量の大きさに回復し、次いで再び張力陰性となり、さらに定荷重張力線にもどろうとして、少なくとも二相性の経過が観察される。

負荷が与えられてから、機械曲線に、低下を示す記録が生じはじめるまでの所要時間を a とすれば、a の大きさは負荷量の大きさに関係なく、ほぼ一定であり、平均 45 msec 前後であった。機械曲線上に下降があらわれ始めた時点から、曲線が大体水平になるまでを下降期として b であらわすと、b の値は表 1 に示すごとく負荷重量の減少にしたがって減少した。次に c を機械曲線が概ね水平となる時期とすれば、その間手は一定の高さを維持していることを示す。c は b と同様、負荷重量の減少に伴って短くなった。反動的に元にもどろうとする手の動きが描く、機械曲線が、再び概ね水平の状態に入ろうとする時点までを d とすれば、同様負荷量の減少に伴う、所要時間の短縮が認められた。手の落下垂直距離を e の高さからもとめることができるが、負荷量の減少に伴ない、手の垂直方向の動きは小さくなっている。

三角筋から誘導された筋電図については、負荷がかけられてから筋放電が認められるに至るまでの所要時間を D1、ここで生じた筋放電が

消失するまでを D2、D2 に引きつづく silent period を D3、次の活動電流発生期を D4、その後の silent period を D5 とした。

上腕二頭筋から誘導されるものを、全く同様に B1~B5 と命名した。

重量の変化に関係なく B1 は D1 より、D1 は a より少ない傾向を示した。

D4', B4' はそれぞれ D3, B3 の silent period がみられない場合の D1 および B1 以降の長さを示し D4' (または B4') = D2 + D3 + D4 (または B2 + B3 + B4) になる。

D3 および B3 の silent period は下降期、すなわち eccentric contraction または移行期に観察されるものであって、少くとも反転上昇に転じた後の concentric contraction 中に生じるものではない。表 1 中の数字に () を附してあるのは、実験例中数例に観察された結果である。() を附していない数字で示してあるのは毎回殊んど確実に観察できるもの、——は 1 例も観察されなかったことを示している。

B3 が観察されるのは極めて稀であった。D3 は負荷重量が大きい場合に屢々、記録された。D5 は重量が軽くなるにしたがって延長する傾向を示すが、負荷量が 5 kg 以下となると再び短縮してくる。

D4' の長さが明かに b+c の長さより大きい

Table 2. Appearance rate of silent period by the differences of loads and speed of reaction (passive type)

Load (kg)	Subjects	Silent Period			
		Speed of ascend (m/s sec)	Period of eccentric contraction (m sec)	Shifting period (m sec)	Period of concentric contraction (m sec)
15.0	S.I.	0.190	D (28)	D (38.7)	-
		0.211	-	D (40.0)	D (32.0)
		0.410	D (28)	-	-
		0.575	-	-	D 51.0
		0.710	-	-	D 84.0 B 56.0
	H.K.	0.162	-	-	-
		0.292	-	-	-
		0.546	-	-	-
		0.926	-	-	-
		1.220	-	-	D (45.0)
10.0	S.I.	0.126	-	D 50.0	-
		0.174	-	D (42.7)	-
		0.391	-	-	D 40.0
		0.598	-	-	D 80.4 B 60.0
		0.944	-	-	D116.2 B 66.1
	H.K.	0.337	-	-	-
		0.408	-	-	D (30.0)
		0.427	-	D 50.0 B 40.0	-
		0.690	-	-	D 46.7
		0.863	-	-	D15.0 B 53.3
5.0	S.I.	0.193	DD 60.0	D 45.0	D (30.0)
		0.286	-	D 46.7	D 52.3
		0.303	-	D 35.0	D 60.0
		0.538	-	D (40.0)	D 77.5 B 50.0
		1.111	-	-	D143.3 B 54.5
	H.K.	0.276	D 20.0 B 40.0	D 60.0 B 46.7	-
		0.373	-	D 40.0 B 20.0	D 45.0
		0.528	-	D 80.0	D 60.0
		0.698	-	D 60.0 B 30.0	D105.0 B 30.0
		1.099	-	-	D 22.0 B 30.0

のは荷重 10 kg 以前までであって、9 kg 以下になると、この両者がほぼ等しくなり、さらに 6 kg 以下の場合には逆に b+c の長さの方が長くなっている。

B5 の長さは絶体的に D3 より短かく、負荷重量の大きさによって、その長さは変化しない。また B4' は各重量階級ともに D4' より長いので B5 は D5 よりも遅れてあらわれるものであることを示している。

第 2 の passive type の実験は反転上昇に転じさせる時の上昇速度の変化に伴う silent period のあらわれ方の異同をみたものであるが、結果は、表 2 に示した。上昇速度が遅いほど下降期すなわち eccentric contraction 中に silent period があらわれ易く (頻度は少ない)、速度が速くなるにしたがって上昇期すなわち concentric contraction 中に発現するようになる。また上昇速度が遅い場合、上腕二頭筋に silent period は見られるのは極めて稀である。

全く反動をつけず、低下させられた位置にそのまま手を保持させるようにした場合の 1 例を図 2 に示した。三角筋、上腕二頭筋ともに、下降期中に silent period に入っている。

第 3 の実験の active type では、第 1 および第 2 の passive type の実験における上昇反転期にみられた結果と大差ない成績を示した。

第 4 の上肢筋をできるだけ弛緩させた状態から active type の動作を行なわせた場合 (1 例を図 3 に示した) は、空間に保持させられたやや緊張のある状態から動作

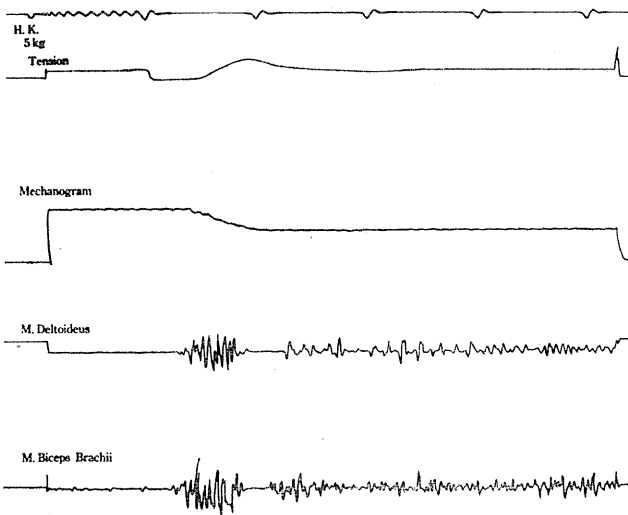


Fig. 2. One record in the case of no turn over reaction (passive type).

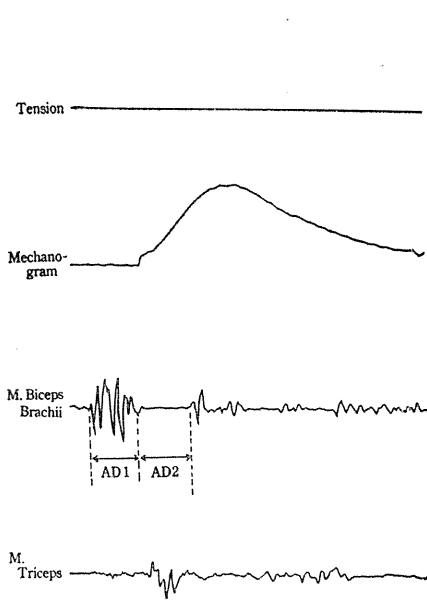


Fig. 3. H. K. no load (active type).

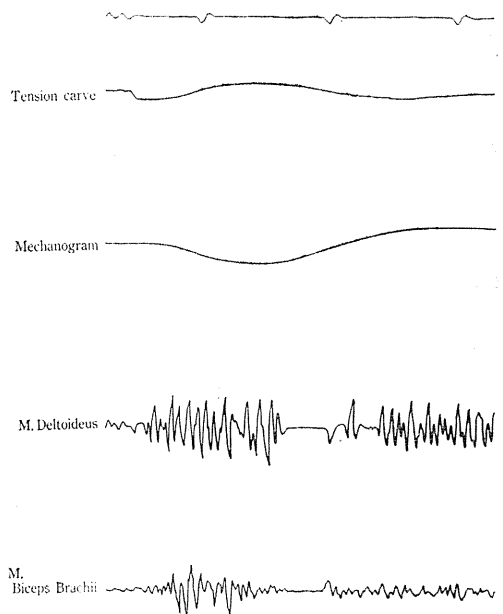


Fig. 4. K. M. 19 female (passive type).

Table 3. Silent period of female muscle

Mortion	Load (kg)	Subjects	Speed of descend (mm/m sec)	Speed of ascend (mm/m sec)	Silent period (m sec)		
					Period of eccentric contraction	Shifting period	Period of concentric contraction
Passive	9.0	K.M.	0.562	0.469	D (45.0)	—	D 30.0
		T.T.	0.869	0.562	—	—	—
	6.5	K.M.	0.562	0.588	—	—	D 66.7 B 70.0
		T.T.	0.746	0.451	—	—	—
	4.0	K.M.	0.299	0.537	—	D 30.0	D 70.0 B 60.0
		T.T.	0.609	0.339	—	D 48.0	—
Active	9.0	K.M.	—	0.598	—	—	D 30.0
		T.T.	—	0.655	—	—	D 25.0
	6.5	K.M.	—	0.725	—	—	D 78.0 B 45.0
		T.T.	—	0.794	—	—	D 52.5
	4.0	K.M.	—	0.870	—	—	D 114.0 B 50.0
		T.T.	—	0.747	—	—	D (33.3)

D=M. Deltoideus
B=M. Biceps Brachii

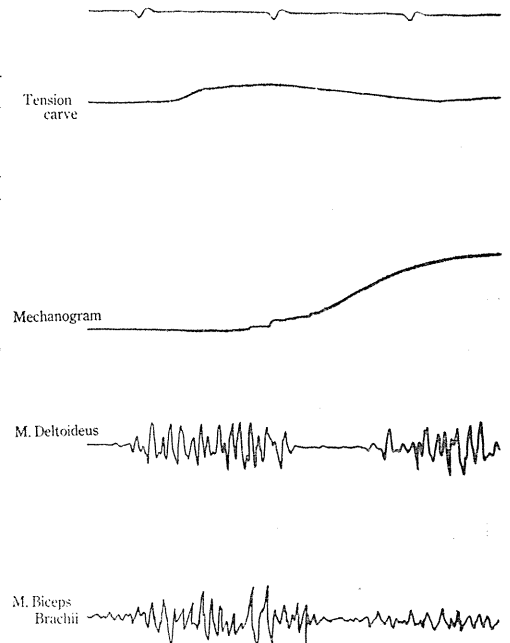


Fig. 5. K. M. 19 female (active type).

をおこす場合よりも、動作開始から silent period に入るまでの所要時間 (AD 1) が短かく、silent period の (AD 2) 出現頻度も高くなり (緊張した状態から始める場合の出現率は10例中4例であった)、10例中9例に見出された。

第5の実験は女性について行なったものである。結果は表3に取りまとめ、図4および図5に passive type, active type の各1例づつをあげた。男子によってえられた所見と全く同一傾向が見られ、性差を示唆する何等の資料もえられなかった。

第6の11才男児の行なった実験成績は表4および表5、図6～図8から知られるように、本質的な年齢差は見られない。しかし図8の同一

被検者での同一重量による反復試技の場合、上昇速度の遅い①、②の方に silent period が見られ、上昇速度が最も速い③の場合に見られていない。これは青年者で見られた所見に反して

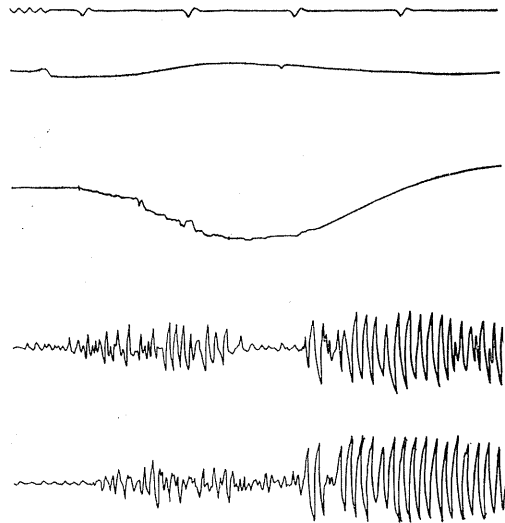


Fig. 6. Incomplete silent period of children skeletal muscle in the shifting period (passive type). 4 kg M. T.

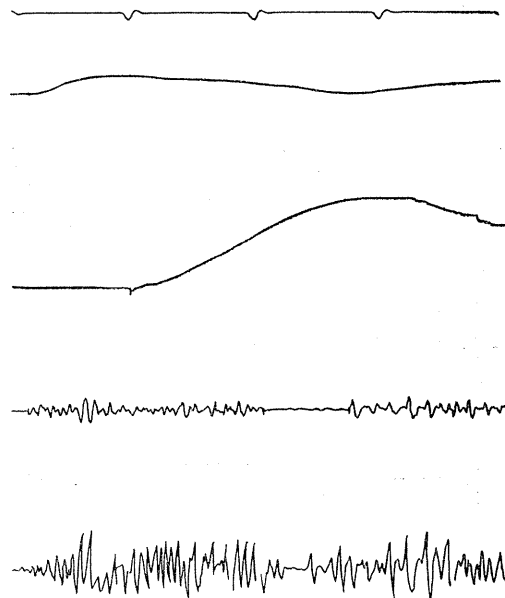


Fig. 7. Silent period of children skeletal muscle (active type). 4 kg T. K.

Table 4

	Ia	II a	III a	IV a
Active K	44.0	154.4	156.8	1.013
(2kg) T	75.2	116.0	182.4	1.550
M	118.7	52.0	244.0	0.916
				1.103
Active K	75.2	73.6	247.2	0.875
(4kg) T	188.0	116.0	391.0	0.927
M				0.833
				0.525

Ia... The time elapsed between the starting of the mechanogram and the beginning of S.P. (m.sec.)
 II a... Duration of silent period (S.P.) (m.sec.)
 III a... The time elapsed between the starting of discharge (EMG) and the beginning of S.P. (m.sec.)
 IV a... The speed of ascend (mm/m.sec.)

Table 5

	I p	II p	III p	IV p
Passive K	0.487	1.042	16.0	90.4
T	0.413	1.200	87.2	52.8
M	0.587	0.900		
Passive K	0.574	0.817		
T	0.663	0.900		
M	0.563	0.605		
M	1.376	--	--	(120)

I p... The motion speed of descend (mm/m.sec)
 II p... The motion speed of ascend (mm/m.sec)
 III p... The time elapsed between the starting of the up ward motion and the beginning of S.P. (m.sec)
 IV p... Duration of silent period (S.P.) (m.sec)

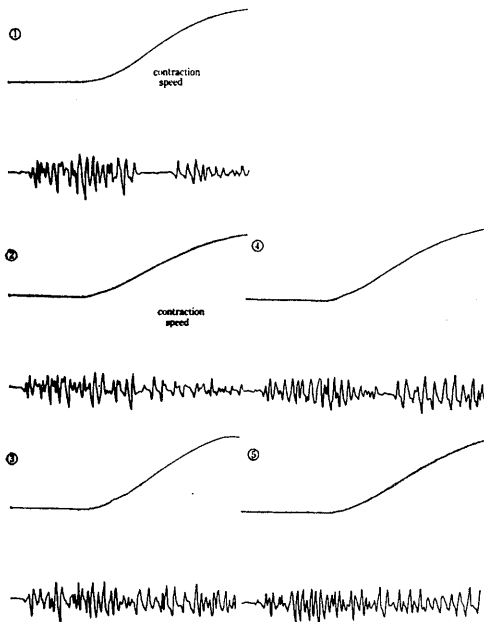


Fig. 8. Silent period of children skeletal muscle on the various speed of ascending motion by the concentric contraction (active type). 2 kg M. T.

いる。また図6に示すように、単に放電が減少するにとどまり、完全な silent period にならない型もこの年齢層に見られる1つの特徴である。

IV. 考 察

機械曲線の下降期から移行期にかけての期間に見られる silent period は表1の D3 および B3に示されるように、比較的重量が大きくしかも下降速度が大なる場合にみられるので、筋が急激に伸展されるということを考えると、筋紡錘からの発射によるものとみなしうる。しかしこの時期は筋張力曲線の経過からみると、急速に張力が高まりはじめる時期に相当しており、張力が減少しはじめると間もなく silent period も消失する点を考慮すると Golgi 腱器官からの発射も否定できない。ただこの時期の silent period の発現と筋張力の高まりの勾配との間には全く相関がない ($r=0.11$)。また、Gansen⁹⁾ (1963) 等は動物実験で、Golgi 腱器官が silent

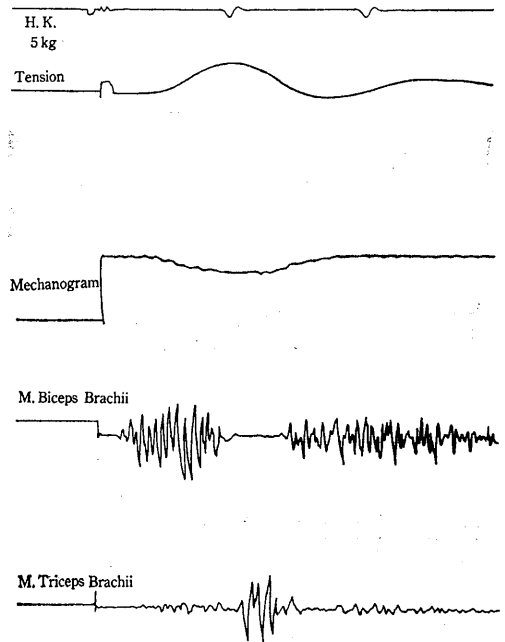


Fig. 9. Relation between silent period of M. biceps brachii and discharge produced in m. triceps brachii.

period の長さの決定に本質的に重要な役割を演じることはないという。したがって、Golgi 腱器官の働きを重視しない方が正しいかもしれない。

上昇反転期に入ってから後に生じる silent period の場合は、筋張力曲線からみても低下期に相当しており、負荷量が軽く、反転上昇速度が速いほど silent period の発現頻度も多くその持続時間も長い。したがって、少なくとも筋紡錘からの発射は silent period の発現に大きな役割を演じているものと思われる。

しかし、負荷量が小さい場合は、反転上昇速度が遅い場合でも silent period の出現頻度が高く、負荷量が大なる場合は、反転上昇速度が相当に速い場合でも見られないことが多い。この点からみれば、上位中枢からの抑制とか、Frank⁹⁾ 等 (1957)、および Eccless¹⁰⁾ 等 (1961) のいう presynaptic inhibition 等という他の複雑な抑制機構の関与も考慮すべきであろう。

いずれにせよ、本実験の範囲内では、抑制機

構そのものを追究することは不可能であり、また実験本来の主旨でもないが、われわれが与えた単純な実験条件の場合でも、silent period の発現には筋紡錘からの発射以外の要素も考えなければならぬ。

上腕二頭筋と上腕三頭筋とにみられる筋放電の関係は、図9に示すように、active type, passive type の別なく、全く例外なしに、上腕二頭筋に silent period があらわれはじめて後 30 msec 前後の時間を置いて上腕三頭筋に強い筋放電が見られる。そして上腕三頭筋の筋放電の減弱と上腕二頭筋の筋放電の再開とは、silent period の開始時と異り、時間的に重なりあった部分が存在している。

このことは少なくとも上腕二頭筋での silent period の出現には、拮抗筋である上腕三頭筋側の伸展受容器からの反射的抑制によるものでないことだけは確実にいえるのである。

また運動学的にみて重要なことは、active type, passive type いずれの場合でも、手に負荷がかけられ、あるいは手を動かそうとする場合、上腕二頭筋の方が三角筋より速く収縮しはじめるが、silent period は三角筋の方に長く、高頻度に現われるということである。筋短縮あるいは伸展の度が強いほど silent period の現われ方が強い点を考えると、逆に手の運動では上腕二頭筋よりも三角筋の方が主役を演じているということもいえるのである。そして強く働く筋ほど、silent period が大きく現われ、Smith⁷⁾等(1963)が実証したような実効筋力に対する減少効果を招くものであるとすると、筋力測定という観点のみならず、運動能力の開発ということについても大きな問題が介在していることを考えざるをえない。

本実験においては、silent period 発現について性差がみとめられなかったが、川上¹¹⁾(1962)は上肢筋群の筋緊張に対する性周期の影響を認めているので、今後性周期を中心とした silent period の出現相について研究する必要があるものと考えている。

11才男子学童で silent period と concentric

contraction の速度との関係が不定であり、さらに不全型の出現頻度が増加するなど、少なくとも青年男女子でみられる pattern とは若干様相を異にしていることは注目すべき点である。運動生理学的にみて、神経機能は10才以前にほぼ成人の域に達するものといわれているが、この silent period の出現というような servo-control としての feed back system が関与する機構では、なお成人と相当の隔りがある。その意味で成人の域に達するのは果して何才であるかという点は今後の研究課題である。

V. 摘 要

人間上肢の動的収縮時の筋電図における silent period を、特に eccentric contraction, concentric contraction との関係について実験して次のような結果をえた。

1. Eccentric contraction では負荷量を大きくし、動作をゆっくりさせた場合に silent period があらわれ易いが、必発所見ではない。

2. Concentric contraction では負荷量が小さく、筋収縮速度を増加してやるほど長く、しかも早期に silent period が現われる。出現率は至適条件では100%になる。

3. Eccentric contraction 中に現われる silent period に比較し、concentric contraction 中にあらわれる silent period の持続時間は遙かに長い。

4. 負荷が大きい場合は収縮速度を増加させても現われず、小さい場合は充分遅くしても現われる。

5. 三角筋の方が上腕二頭筋におけるより長い silent period を観察し、しかも相当広範な実験条件の変動をみた場合でも、高い出現頻度が維持される。

6. 上腕二頭筋が silent period に入ってから後約 30 msec の間隔を置いて上腕三頭筋に活動電流が記録される。

7. 11才男子の silent period の現われ方は青年男子の場合と異り、収縮速度との関係がうすく、屢々、不全型が観察される。

欄筆するにあたり，御指導御校閲を頂いた恩師名
取教授に深謝致します。

文 献

- 1) Leksell, L. (1945) The action potential and excitatory effects of the small ventral root fibres to skeletal muscle. *Acta physiol. scand.*, 10, Supple. 31, 1-84
- 2) Merton, P. A. (1950) Significance of the silent period of muscles. *Nature, Lond.*, 166, 733-734
- 3) Merton, P. A. (1951) The silent period in a muscle of the human hand. *J. Physiol.* 114, 183-198
- 4) Matthews, P. B. C. (1964) Muscle spindles and their control. *Physiol. Rev.* 44, 219-288
- 5) Angel, R. W., Eppler, W. and Iannone, A. (1965) Silent period produced by unloading of muscle during voluntary contraction. *J. Physiol.* 180, 867-870
- 6) 猪飼道夫・金子公宥(1963) パワーの測定, オリンピア 17 (4), 67-75
- 7) Smith, J. E. and Whitley, J. D. (1963) Relation between muscular force of limb under different starting conditions and speed of movement. *Res. Quart.* 34 (4), 489-498
- 8) Jansen, J. K. S. and Rudjord, T. (1963) The silent period during twitch contraction of the soleus of the decerebrate cat. *Acta. physiol. scand. Suppl.* 213, 59, 69-70
- 9) Frank, K. and Fuortes, M. G. F. (1957) Presynaptic and postsynaptic inhibition of monosynaptic reflexes. *Fed. Proc.*, 16, 36-40
- 10) Eccles, J. C., Eccles, R. M. and Magni, F. (1961) Central inhibitory action attributable to presynaptic depolarization produced by muscle afferent volleys. *J. Physiol.* 159, 147-166
- 11) 川上正澄 (1962) 性ホルモンと骨格筋 協同医書出版



白 木 啓 三 *

The effect of splenectomy on sports anemia

Keizo Shiraki (*First Department of Physiology, Kyoto Prefectural University of Medicine*)

It is well known that a temporary anemia occurs frequently in the early period of training to the strenuous physical exercise.

Yamada clarified its cause as due to an increased fragility of the red blood cells. In other words, it is a kind of hemolytic anemia. This hemolytic anemia is characterized by the decreased resistance of the red blood cells to hypotonic salt solutions.

It is generally believed that the destruction of erythrocyte has an intimate bearing with spleen.

In an attempt to clarify the role of the spleen in initiating sports anemia, mongrel dogs were splenectomized at least one month prior to the experiment. These dogs together with normal control dogs were daily forced to run 48 km/day for 2 weeks. During this period, the fragility of the red blood cells were measured with intervals of three days by using various concentrations of hypotonic salt solutions, and the other hematological examinations were also performed concomitantly.

The results obtained are as follows ;

1. In the early days of the exercising period, a typical anemia appeared with the normal dogs, but not with the splenectomized dogs.

2. The fragility of the red blood cells from the control dogs was also increased remarkably, whereas that from the splenectomized dogs was not changed.

3. By the "red cell incubation method" with the plasma from normal or splenectomized dogs, it was clarified that there are some factors which increase the fragility of the red blood cells in the plasma of the exercising dog which as the intact spleen.

4. It is concluded from these experiment that the spleen plays an important role in destructing the red blood cells during the strenuous physical exercise, and in initiating sports anemia.

5. The plasma of the blood squeezed out of the spleen by adrenaline injection was verified to contain a high amount of the substance, probably lysolecithin, which can injure the erythrocytes. As the strenuous muscular exercise initiates the increased secretion of adrenaline, and accelerates the contraction of spleen, this may be the reason why the strenuous muscular exercise can cause the sports anemia with normal dogs, while not with splenectomized ones.

[J. Physiol. Soc. Japan (1968) 30, 01-13]

緒 論

激しい身体運動を行なわせるとその初期に一時的な貧血が起ることはよく知られた事実である。Broun¹⁾²⁾はこの貧血の原因が赤血球の破壊の促進によることを初めて明らかにし、山田³⁾は運動負荷を行なった場合の赤血球の低張性食塩水に対する抵抗性が著しく減少し赤血球の

脆弱性が増加していることを明らかにした。また平松⁴⁾は運動初期に赤血球の浸透圧抵抗が減少すると同時に機械的抵抗性も減弱していることを指摘した。

吉村はこのような激しい筋運動の際に赤血球の破壊によって現われる貧血は筋運動に直接関連したものとの観点からこれを運動性貧血または sports anemia⁵⁾と名付けた。

教室の大塚⁶⁾はこの運動時の赤血球破壊の原因を明らかにするために、激しい運動を行ないつつある被験者Aと安静状態にある被験者Bと

* 京都府立医科大学第1生理学教室

〔昭和42年10月21日受付〕

の血液を組合せ（血液型は同一のものを選ぶ）Aの血清とBの血球を混合した血液（ α ）とAの血球とBの血清とを混合した血液（ β ）とを作りその血球の球係数を計測しつつ血液を37°Cにて24時間 incubate した場合に係数が如何様に変化するかを見た。ただし球係数は赤血球の変性の示標としてしばしば用いられる係数であって、赤血球膜が脆弱になると血球は球状にふくれ上るために係数は増加する。実験の結果は運動練習1週間までの被験者Aの血液を用いた場合にはその血液の血球のみならず、Aの血清を含んだ血液（ α ）の血球は常に球係数が顕著に増加する事実を明らかにし、またこの場合 β の血液にあってはその血球の球係数の増加は顕著でないことより運動時の赤血球抵抗の低下の原因は運動することによりその血液の血清中に何等か血球抵抗を弱める因子が入ってくることを明らかにした⁷⁾。つまり血球抵抗が弱くなってこれが網状織細胞系によって破壊せられるために⁸⁾貧血がおこるのである。また抵抗の減弱ないしは血球膜の変性が激しい時には流血中の溶血が起りうるであろう。一方このような激しい運動に伴って一時的に起る一種の溶血現象については古くから March Hemoglobinuria⁹⁾として記載されたものがあり、吉村のいう動運性貧血もまたこれに関連したものである。

ところでこのような生理的に起る溶血性貧血は激しい筋運動の際にのみ出現するものではなく、人体がはげしい寒冷にさらされたり強烈な精神的刺激が加えられた際にも起ってくることも知られている¹⁰⁾。

ところでこのような溶血がすべて血清中に現われる一種の溶血因子によるものであるかどうかは問題であるがしかし臨床医学の面では溶血性貧血の患者の脾臓を摘出すればその治療に劇的な効果をえられることが古くから知られている。

また一方 Singer¹¹⁾ は血漿中の溶血物質の抽出を行ない溶血性貧血患者では血漿中に lysolecithin という物質が増量していることを明らかにしている。なおこのような患者の脾臓を摘

出すれば浸透圧抵抗は増強すると同時に血漿中の lysolecithin 値を減少することを報告した。

Lysolecithin は本来毒蛇から分離された強い溶血作用をもつ物質であり lecithin の代謝過程に産生される物質である¹²⁾。

Singer¹³⁾ および Collier ら¹⁴⁾ はこの lysolecithin を絶えず流動している血液の中から抽出することは容易ではないが、血液を体温にて静かに incubate した場合、さらに生理的には脾臓のように血液が比較的静止した状態であれば増量するものであることを明らかにした。したがっておそらく生理的にもこの溶血性物質が脾臓において多量に産生されているものと考えられ、筋運動時に脾臓が収縮する際にこの溶血促進物質が流血中に放出されるために、赤血球の破壊が促進されることもありうる訳である。そこで本研究では果して運動性貧血に際しこのような脾臓が関与しているものかどうか、また関与するとすればどのような役割を果しているのかについて検討し運動性貧血の本態を解明しようとしたのである。

実験は先ず運動性貧血が脾臓に関係するかどうか、また大塚のいうような血球破壊性の因子が果して運動することにより血漿中に現われるものかどうかについての追試より始められそしてこの血球破壊因子が果して脾臓に関係するかどうかについて検討した（第1実験）。

かくして第2段としてここに産生される物質が何故に運動時に流血中に多く現われるか、またこの物質は如何なる物質であるかについて検討を行なった（第2実験）。

実験方法

実験には7~15kgの健康な成犬を雌雄の別なく用いた。その総数は16頭であった。次項に詳述するように犬を毎日長時間走らせて労働を負荷しその血液性状の変化を検討するのであるが、これに先立って2~3カ月間安静状態にて飼ひ馴らしておき、この間に対照時（労働非負荷時）の血液性状の検査を週1回の割合にて行なった。かくして安定した対照値がえられるよ

うになれば次項に述べるような方法で犬に激しい労働を負荷した。なお食餌は全実験期間を通じて一定食を与えた。その食餌組成は1頭当り押麦 200 g と煮干し 50 g とに食塩適量を加え毎日炊飯し、1日1回の割で投与した。以上の献立を用いると犬の体重 1 kg 当り1日投与カロリーは 100 kcal で蛋白質は 3.5 g となり安静期には犬の需要カロリー数を上まわっている。

採血はすべて早朝空腹時に無麻酔で行なった。対照期間中は1週1回の割で採血し、運動負荷期間中は運動開始後第3日、第5日、第7日および第14日目に行なった。以上のようにして採取した血液を次に述べるようにしてその性状の変化を検査したのである。

A. 犬の運動負荷とその実験前処置

上記のようにして安静期間の血液性状(対照値)が安定した後採血によく馴れた犬16頭を次の4群に分類して実験に用いた(各群4匹ずつ)。この分類は脾臓の有無が運動負荷犬の血液性状にどのように影響するかを検討するためのものである。

第1群: 対照群とし無処置、非運動犬である。

第2群: 正常運動群であって 12 km/h のスピードにて毎日4時間(2時間の運動後1時間休憩さらに2時間運動する)ずつ14日間にわたって運動負荷を加えた。この運動量は R.M.R 8 に相当する。なお犬を運動させるには犬に鎖をつけ屋内体操場にて自転車で引っぱった。この方法はトレードミルを使用するより確実な運動負荷方法である。

第3群: 摘脾非運動群であって、安静期間の過ぎた犬をラボラール麻酔にて開腹し脾臓摘出を行い、再び術後回復期を1カ月おいた。この間に毎週血液性状検査を行ない一定値を示すことを確認しこの値を摘脾犬対照値とした。

第4群: 摘脾運動群であって、第3群と同様に脾臓摘出を行ない第2群と同一条件にて運動負荷を行なった。

以上のように犬を4群に分けて実験すれば血液性状の経日的変動や投与食餌による影響など

が消去できるので実験成績を検討する際に好都合である。

B. 赤血球浸透圧抵抗測定法

低張性食塩水を用いての赤血球膜の抵抗測定法には種々の方法があるが教室の山田³⁾が用いた方法が最も正確であるとされているので著者もこれを用いた。その方法を簡単に述べると、まず 0.60% から 0.20% までそれぞれ 0.02% の間隔をおいて低張性食塩水を大量に調製しておく。そしてそれぞれの濃度の食塩水を正確に 10 ml ずつスピッツグラスにとり配列する。次に犬より採取したる血液に少量の粉末ヘパリンを加えて凝固を防ぎ 2000 r. p. m. 10 分間遠沈分離する。この血球を 0.9% 生理的食塩水にて 3 回洗滌する。このようにしてえられた赤血球に 0.9% 生理的食塩水にてほぼ 50% 赤血球浮遊液を作り、これを前記の低張性食塩水の配列にそれぞれ 0.1 ml ずつ正確に滴加しよく混和しパラフィルムで密栓して室温にて 3 時間放置する。この後再び静かに混和し 1500 r. p. m. 5 分間遠沈し、この上清を分離し Beckmann 型光電比色計にて溶血率を測定する。溶血率の測定は前記 50% 血球浮遊液 0.1 ml を 10 ml の蒸留水に入れて完全に溶血せしめた時の比色計の値を 100% 溶血として算定した。波長 545 m μ にて最大吸光度を示す。

C. Incubation 法による赤血球抵抗検査法

後に詳しく述べるように血漿中には赤血球の膜抵抗性に影響をおよぼす因子が含まれておりしかもそれが運動負荷や脾臓の有無によってその含有量が異なる。このような因子について検討を加えるために次に述べるような incubation 法を試みた。この方法は、1) 先ず犬の血液型の異同を決するための交叉試験、2) 採血と異群間の血球と血漿の混合、3) Incubation および 4) 低張性食塩水による赤血球浸透圧抵抗の測定という4段の操作より成り立つ。

第1段操作(交叉試験); 犬においても血液型が存在するため異型血液を混合して不適合反応が起れば当然溶血または凝集反応があらわれる。ゆえに著者は以下の incubation を行なう前

に混和する可能性のある犬の間で全て交叉試験を行なった。そして不適合反応の起らない犬の間でのみ混和を行なったことは勿論である。交叉試験は Swisher and Young¹⁵⁾ の記載する方法で行なった (詳細省略)。

このようにして血液型の等しいと判定された犬を用いて上記のような4群の犬を作っておく。その4群の犬のつくり方 (前処置) の事は前に記したからここにはくりかえさない。

第2段操作; 1例について説明すると、第1群すなわち無処置非運動犬より採血しヘパリン処理を施した血液を遠沈分離し、血漿および血球成分に分離する。そしてそれぞれを4分して別々の滅菌小試験管に入れる。次に第1群 (すでに採血したのとは別の犬)、第2群、第3群および第4群の犬から同様にそれぞれ血漿および血球成分を分離し、前述の第1群の犬の血漿および血球と、混和すると表1のような組合せができる。なお血漿と血球成分の比率はすべて1:1になるようにした。

第3段操作 (incubation); 以上のようにして作成した血漿と血球の混合液を静かに攪拌してパラフィルムにて密栓を施し、37°Cにて2時間 incubate した。これらの操作は全て無菌的に行なった。なお incubation の時間を2時間に限定したのはこれ以上長く incubate すると血液が変性して血球抵抗が著明に減弱するからであってこのような変性の影響は2時間以前ならば著明でないことを確かめたからである (後で詳しく述べる)。

第4段操作 (赤血球浸透圧抵抗の測定); Incubation 後静かに攪拌し、B) で述べたのと全く同様の方法で赤血球浸透圧抵抗を測定した。

D. 一般血液性状測定法

i. 赤血球数算定; Improved Neubauer の Haematocytometer を使用した¹⁶⁾

ii. 網状赤血球数; Pappenheim 氏法¹⁷⁾により超生体染色を施して生の状態で検鏡した。成績は赤血球1000に対する値をもって示した。

iii. ヘモグロビン; 国際標準法であるシアンメトヘモグロビン法を用いて比色定量した。

iv. ヘマトクリット値; 高速遠沈器による毛細管法を用いた¹⁸⁾。11000 r. p. m. 5分間値を求めた。

v. 循環血液量測定; RISA (¹³¹I)を用いて米国 Ames Atomium 社製 Volêmetron を使用した¹⁹⁾。その原理は人血清アルブミンに ¹³¹I をラベルし、あらかじめその同位元素の activity を測定しておいてこれを伏在静脈より注入し10分後に対側の伏在静脈より採血しその稀釈度を測定する。Volêmetron はこの同位元素の activity を測定し、しかも内臓された computer によって循環血液量を直読できる装置である。

実験成績および考按

実験1. 運動性貧血要因と脾臓

1. 運動犬の赤血球数の変動

運動期の採血は各群ともすべて運動開始後第3, 第5, 第7および第14日目にそれぞれ基礎状態 (朝, 食餌投与前で安静な状態) において

Table 1. Compositions of various kinds of combined blood

Red cells	Plasma	Red cells	Plasma	Red cells	Plasma	Red cells	Plasma
Control (group 1)	Control (group 1)	Normal exercis. (group 2)	Control (group 1)	Splenect. resting (group 3)	Control (group 1)	Splenect. exercis. (group 4)	Control (group 1)
Control	Normal exercis.	Normal exercis.	Splenect. resting	Splenect. resting	Normal exercis.	Splenect. exercis.	Normal exercis.
Control	Splenect. resting	Normal exercis.	Splenect. exercis.	Splenect. resting	Splenect. exercis.	Splenect. exercis.	Splenect. resting
Control	Splenect. exercis.						

行なった。

図1はすでに述べた4群の犬(途中で死亡したりまた2週間の運動に耐えなかった犬はこれを除いた)についてその実験前の対照期の赤血球数の平均値を100%として各群の実験開始後の日数における値をその比率にして示したものである。第2群すなわち無処置運動犬においては運動開始後3~5日目に著しい減少をみとめる。しかしながらさらに運動を継続すると約1週間以後は徐々に元の値に近く傾向を示す。これに対し第4群すなわち摘脾運動犬においては、第2群に見られたような赤血球数の減少は全く出現しない。勿論非運動犬では無処置群および摘脾群ともに変化をみとめなかった。

このように犬に激しい運動を负荷することにより赤血球数の減少が起るのであるが、摘脾した犬ではこのような変化が起らないということは特異である。

2. 総ヘモグロビン量

血中ヘモグロビン量を示す場合には従来は単にこれを濃度としてあらわすのが通例であった。しかし血液水分量すなわち循環血液量の変動すれば濃度も変化する。例えば個体全体のヘモグロビン量に変化がなくても循環血液量の増加によって濃度は減少し、あたかも貧血をきたしたように誤解することになる。したがって個体全体としてヘモグロビン値を示すためには濃度と循環血液量とを乗じて総ヘモグロビン量として示すのが適切である。総ヘモグロビン量は次式によって求める。

総ヘモグロビン (g)

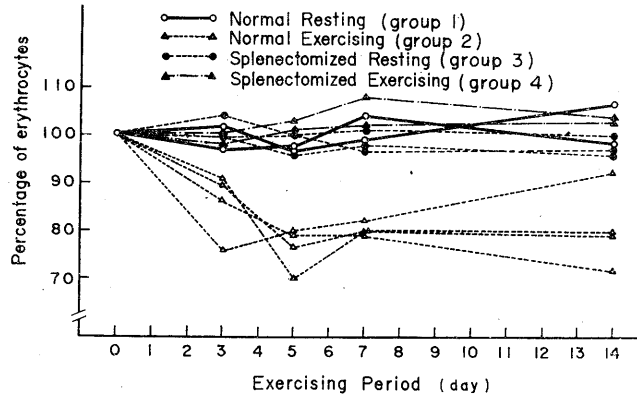


Fig. 1. Effect of strenuous exercise on erythrocytes.

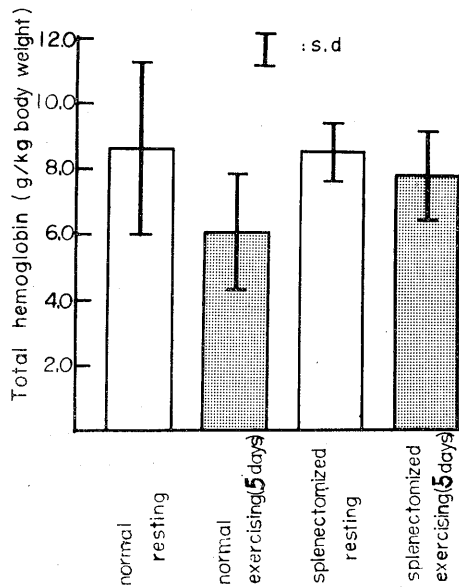


Fig. 2. Effect of exercise on total hemoglobin of normal as well as splenectomized dogs.

$$= \text{ヘモグロビン濃度 (g/dl)} \times \text{循環血液量 (l)} \times 10$$

ここで循環血液量は体重による差があるため総ヘモグロビンを体重にて除したものをを用いることにすれば各個体の値を比較するのに便利である。

図2には第2群に貧血が最も著明にあらわれた実験第5日目の総血色素量について各群の平均値を求めて棒図として比較したものである。

図示の如く摘脾犬においては安静群と運動群との間に有意差を認めないが、無処置犬においては安静群と運動群との間に $P < 0.05$ にて有意差がある。この場合総ヘモグロビン量は標準偏差がかなり大きいのであるが、正常運動群（第2群）では赤血球数の減少率とほぼ等しい低下率を示しているといえよう。

3. 網状赤血球数の変動

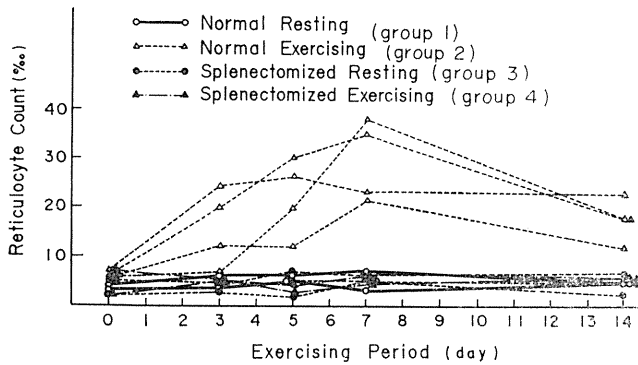


Fig. 3. Effect of strenuous exercise on reticulocytes.

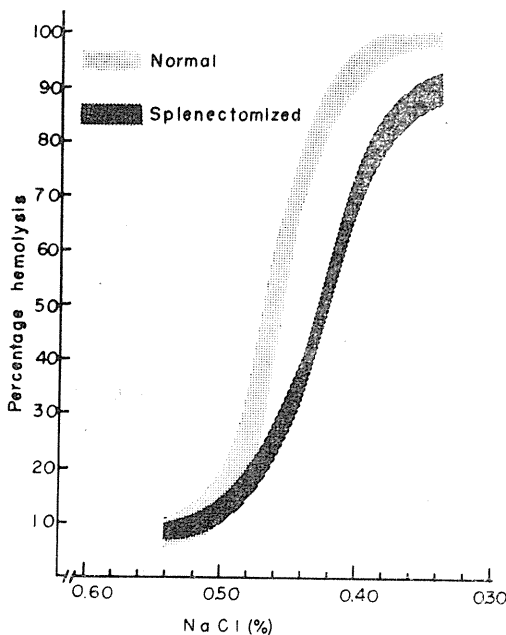


Fig. 4. Daily variation of erythrocyte osmotic resistance of normal as well as splenectomized dogs (5-10 days).

網状赤血球数は正常な造血機能を有する個体においては貧血の際に必ず増加するものであって、流血中に網状赤血球が増加することは造血機能が亢進していることを物語っている²⁰⁾。

図3に示すように対照の第1群の網状赤血球数は常に一定に保たれているが、第2群すなわち正常運動犬においては運動開始と共に次第に増加し、第7日目に最高値を示す。しかしさら

に運動を継続していると、図1に示したように赤血球数が回復すると共に次第に安静値に戻る傾向がある。この図3を図1と比較してみると、網状赤血球数の最大値の出現は、貧血が最高になった日より2日間遅れている。すなわち個体が貧血を起すとそれが刺激になって骨髄の造血機能が刺激されて網状赤血球が流血中に多くなるのである。この事実と符合する事実として注目すべきことは摘脾犬にあっては赤血球数の変動と同様に運動負荷にもかかわらず網状赤血球数の変動は安静群における値と殆んど差異をみとめないのである。

4. 赤血球浸透圧抵抗の変動

赤血球の浸透圧抵抗性は正常犬においても個体差がありまた同一個体においても日内変動が認められるために、測定は全て基礎状態において行なった。

a. 脾臓摘出の影響；図4

には安静期の正常犬と、脾臓摘出後1カ月経過して血液性状が安定した犬とについて、それぞれ5~10日間連続して赤血球の抵抗測定を行なったものを示したものである。各測定値は溶血曲線を描いて正常犬(5回測定)と摘脾犬(10回測定)に分けて、

その曲線の存在する範囲のところを帯状の曲線として示した。図示の如く正常群においては完全溶血は食塩濃度 0.34~0.38% において起り、S字型のカーブをとりながら溶血率は減少し 0.54% 以上ではほぼ一定値となる。このように溶血曲線がS字型を示めすのは赤血球の中には膜抵抗の比較的強いものと弱いものが混在するためである。

しかるに摘脾犬においては、その赤血球の膜抵抗性は正常犬よりも強く 0.34% 食塩水においても完全溶血は起らず溶血率は 90% 前後である。そして図の如く全体としてカーブは右方に傾斜して完全溶血値が食塩濃度の低い方へずれている。このことは脾臓摘出によって浸透圧抵抗の強い血球が増したことを示している。しかし血球の中には正常犬と同じ最小抵抗を示す血球もあるから曲線は右に傾いて溶血巾(最大溶血時の食塩濃度と最小溶血時の食塩濃度の差)が増した形になるのである。

b. 正常運動群

図5は脾臓をもった正常犬についてはげしい身体運動を負荷することによって赤血球浸透圧抵抗がどのように変化するかを日を追って溶血曲線として示めたものである。ここに見るように運動を継続して第5および第7日目において浸透圧抵抗は対照期に較べて著しく減弱している。これは前述した貧血が最も強く出現する日と丁度一致している。しかしさらに運動を継続し第14日目になると今度は逆に対照期より赤血球抵抗は強くなり曲線は全体として右にずれてしまう。これは膜抵抗の弱い赤血球が破壊されてしまって後に抵抗の強い赤血球や新生赤血球のみが残ったためと考えられる。

c. 摘脾運動群

図6には脾臓を摘出して正常群と同様に運動負荷を行なった犬についての成績を示す。運動の全期間を通じて、浸透圧抵抗の減弱する時期は全く認められなかったことが大きな特徴である。

以上 a, b および c の各項の成績から犬に激しい身体運動を負荷することにより、正常

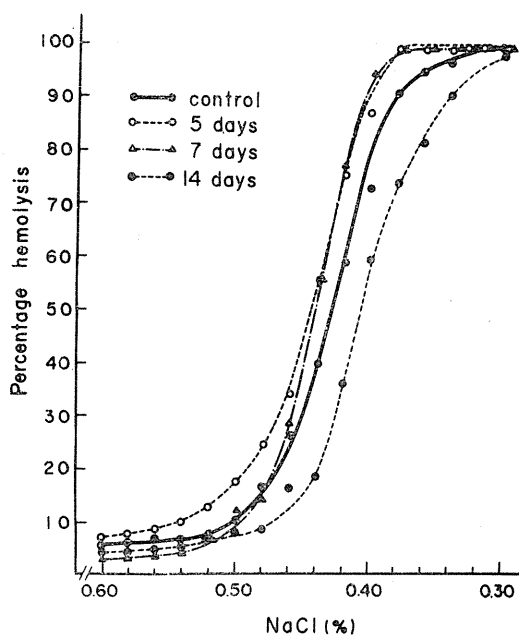


Fig. 5. Changes of erythrocyte osmotic resistance related with the days of exercise (normal dog).

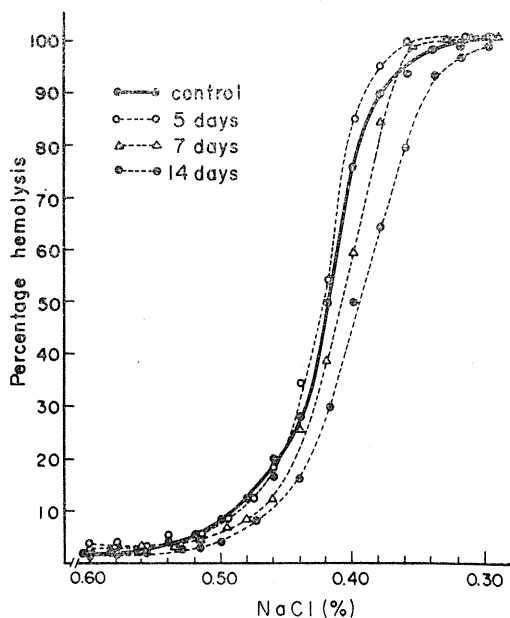


Fig. 6. Changes of erythrocyte osmotic resistance related with the days of exercise (splenectomized dog).

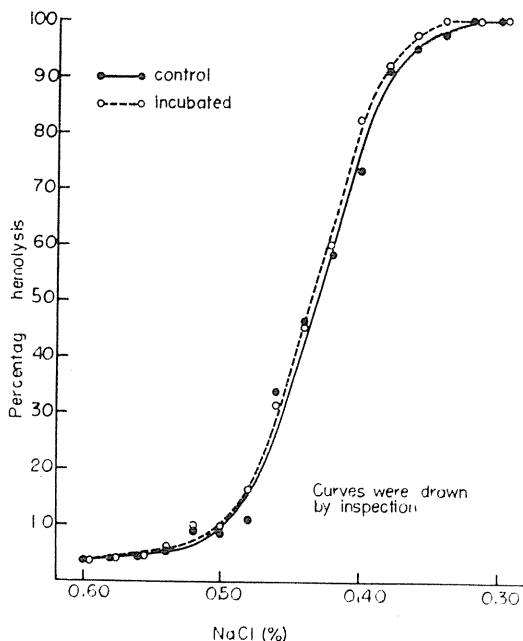


Fig. 7. Effect of red cell incubation for 2 hours with serum from normal dog.

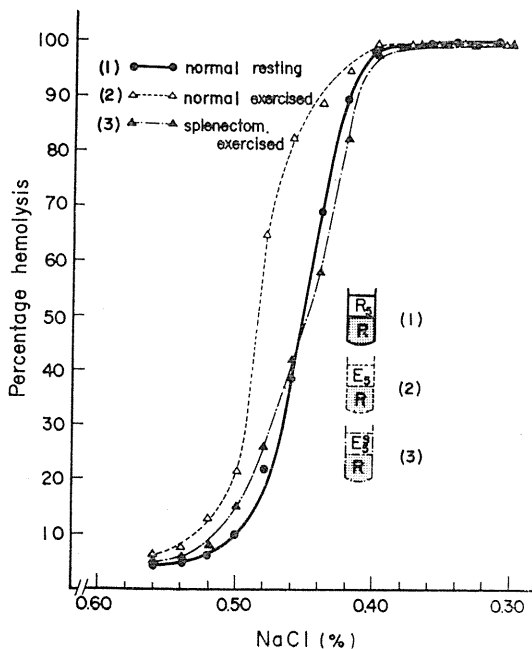


Fig. 8. Effect of red cell incubation with serum from normal and splenectomized dogs (5 days).

犬では貧血発現の時期と一致して、赤血球の浸透圧抵抗が著しく減弱していることおよび摘脾犬では、はげしい身体運動を負荷しても、正常犬に見られたような赤血球の抵抗性減弱は認められないという事実が明らかになった。さらに安静期においても脾臓を摘出することにより赤血球の膜抵抗は増強されることが確認された。

5. Incubation 法による膜抵抗減弱要因の分析

以上述べた成績から脾臓の有無が赤血球の膜抵抗性に大きな意義を持つ事が判った。そこで脾臓を摘出することが果して赤血球自体に直接影響をおよぼすものか、あるいは血清成分に変化を起しそれが赤血球膜に作用するものであるのかという疑問が起ってくる。これを解明するために次のような実験を行なった。すなわち各群間の犬について血球成分と血漿成分とを置換して incubate しこの混和血液について赤血球浸透圧抵抗を測定するのである(測定法の項参照)。

a. Incubation 時間の決定法

Incubation法をはじめに先立って incubation の時間をどの程度にしたらよいかを検討した。2匹ずつの正常犬の pair を5組作っておきその pair 内で血球成分と血漿成分を分離して、各々の血球成分および血漿を置換しよく混和した後 37°C にて incubate し、経時的に膜抵抗を測定したところ、2時間までは全く浸透圧抵抗曲線に変化はなかった。しかしそれ以上長時間 incubate した場合には時間経過と共に抵抗の減弱が進んで行った。これは5組の pair 共に同様であった。

図7はその1例であって、安静状態にあるA犬の血球とB犬の血球とを交換して 37°C で2時間 incubate しこの血球交換前のA犬の血球(control)と交換後のA犬の血球(B犬の血漿と共に incubate したもの)について溶血曲線を比較したものである。図示の如く control のものも2時間 incubate したものも全く同じ曲線を示す。かくして本実験においても2時間値を用いて incubation の効果を比較検討をする

ことにした。また後述する安静犬と運動犬との incubation においては安静犬として各時期共常に同一の犬を使用することにより個体差をなくした。またこれらの血球、血漿の交換に用いた犬はいずれも交叉試験によって、溶血や凝集反応の起らないことを確かめて組合せたことはいうまでもない。

b. 安静犬の血液と運動犬のそれとの交換による incubation

正常安静犬の血球と正常運動犬および摘脾運動犬の血漿を混じて incubate し、それぞれの血球の抵抗性を比較した成績を図 8 にかかげた。図には運動継続中最も抵抗性の減弱した第 5 日目に行なった実験成績を示したものである。正常安静犬の血球 (R) と正常運動犬の血漿 (E_s) を入れ換えて incubate したもの (△----△) では、対照の安静犬血球 (R) と安静犬血漿 (R_s) を混じて incubate したものの (●——●) に較べて抵抗性は著しく減弱した。しかしながら正常安静犬血球 (R) と摘脾運動犬血漿 (E_s) を混じて incubate したもの (▲----▲) では対照と比較して全く抵抗性の変化をみなかった。

以上のようにして 4 つの実験群の血球と血漿とを組合せてそれらを incubate してえた結果を表 3 に示す。

表 2 は正常犬および摘脾犬についてそれぞれ安静条件下にて採血しその血球と血漿を分離してこれを種々に組合せて incubate した時の血球の溶血曲線を対照のそれと比較した成績である。表記の如く摘脾犬の血漿を加えた場合には正常犬の血球はその対照に比して強くなっている。またここで注目すべきことは摘脾犬の血球であっても、脾臓をもった正常犬の血漿と混じて incubate すると、浸透圧抵抗は対照と全く変わらないということである。

Table 2. Comparison of osmotic resistance of red cells in various kinds of combined blood at resting state

Erythrocyte	Serum	Membrane Resistance		
		unchanged	strengthen	weaken
Normal	Normal	9	0	0
Normal	Splenectom.	0	4	0
Splenectom.	Normal	6	0	0

Table 3. Comparison of osmotic resistance of red cells in various kinds of combined blood at exercising state

Erythrocyte	Serum	Membrane Resistance	Exercising Period		
			5 days	7 days	14 days
Normal Resting	Normal Exercising	unchanged	0	0	1
		strengthen	0	0	2
		weaken	4	4	0
Normal Resting	Splenectom. Exercising	unchanged	2	2	2
		strengthen	0	0	0
		weaken	0	0	0
Splenectom. Resting	Normal Exercising	unchanged	-----	2	-----
		strengthen	-----	0	-----
		weaken	-----	4	-----
Normal Exercising	Normal Resting	unchanged	1	3	2
		strengthen	1	0	1
		weaken	1	1	1
Splenectom. Exercising	Normal Resting	unchanged	1	1	2
		strengthen	1	1	0
		weaken	0	0	0

次に 14 日間毎日運動させてその 5, 7 および 14 日目に採血してそれらの血液の血球、血漿各種の組合せを incubate した場合に、対照に較べて運動犬の血漿がその組合せに用いた血球の抵抗性を弱めるかまたは強めるかまたは変化がないかということをして全て溶血曲線を描いて判定しその実験例数を示したものが表 3 である。

例えば正常犬を運動させてその血漿をとり正常安静犬の血球と混じて incubate して血球抵抗を測定した場合に (表の上から 2 段目) 運動 14 日目では対照に較べて変化しないもの 1 例、強くなったもの 2 例であり弱くなったもの 0 であった。また各運動日の測定犬の数が日によって変動しているのは実験上のミスのため測定できなかったものがあるからである。

この表 2 および表 3 を通覧してみると、次のような事実を指摘することができる。

1. 正常安静犬の血球と摘脾安静犬の血漿とを混じて incubate するとその血球の抵抗性は増強する。

2. 脾臓摘出安静犬の血球と正常安静犬の血漿とを混じて incubate しても血球の抵抗性は対照に較べて変化しない。

3. 正常安静犬の血球と正常運動犬の血漿とを incubate すれば血球膜の抵抗性は第5および第7運動日では減弱し第14日目には対照値に戻るかあるいは増強している。

4. 安静犬の血球と摘脾運動犬の血漿とを混じて incubate しても抵抗性に変化を示さない。

以上の事実を要約してみると運動初期の正常運動犬の血漿中のみ赤血球膜の抵抗性を減弱させるような因子が含まれていることが明らかである。また脾臓を摘出すれば運動期の血漿であっても赤血球膜の抵抗減弱を起さないことを示している。したがって正常運動犬の血漿中には脾臓から放出される一種の血球膜傷害因子が

存在しこれが激しい身体運動時の貧血（運動性貧血）を惹起させる因子であると考えざるをえない。

実験2. 脾臓と血球破壊因子

6. 脾静脈血の浸透圧抵抗

以上の実験から明らかなように脾臓の有無が赤血球の膜抵抗性に大きな意義を持っているのであるから脾臓内に貯留された血球の膜抵抗を検討し、運動性貧血における脾臓の役割を直接検討してみる必要がある。そこで脾静脈血を採取してその血球膜抵抗を測定してみた。

脾内の血液をその性状が変化しないように採取することはかなり困難であるが著者は脾臓になるべく刺激が加わらないように採血するために次のような方法を用いた。すなわち正常安静犬をラボラール麻酔下に開腹し、脾臓にはなるべく触れないようにしながら脾静脈の内の1本にポリエチレンチューブを挿入する。この際脾静脈にクリップをかけると脾静脈から流出する血流が妨げられ脾臓の容積が増大するためこのような操作は行わず、脾静脈からは絶えず血液が流出しているようにする。一方同時に一侧の大腿静脈にチューブを挿入して大腿静脈血を採取して対照血とし、これと脾静脈より採取した血液とを比較するのである。次に対側の大腿静脈よりアドレナリン 0.3 mg を注入して脾臓を収縮させる。注入後1分にて脾臓は著しくその体積が縮少するが、その縮少開始と同時に脾静脈チューブより採血を行なった。

図9は以上のようにして採取した3種類の血液について赤血球浸透圧抵抗を測定し溶血曲線を示したものである。全身血 (V. femoralis よりとったもの) よりも脾静脈血 (V. lienalis よりとったもの) の抵抗性の方がわずかに弱く、アドレナリン注入によって著しく脾臓が収縮した時の脾静脈血では著明にその赤血球の膜抵抗は減弱していることを示している。

Adrenalin により流出した血液は脾臓内の depôt としてたくわえられたものであるから以上の事は脾臓内に depôt として存在した血液は全身を循環している血液よりも膜抵抗はるか

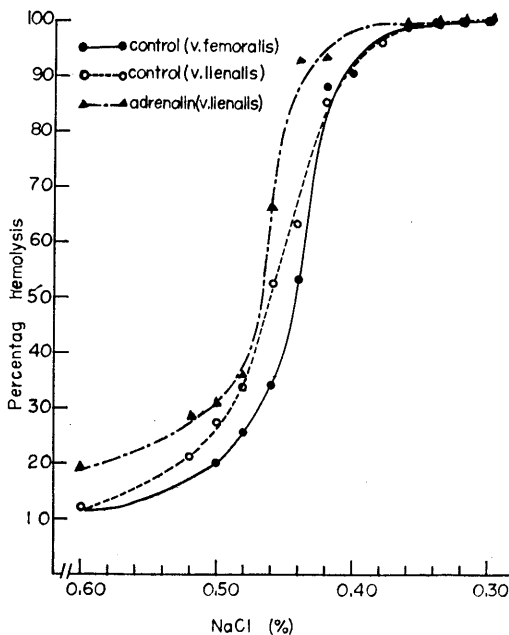


Fig. 9. Effect of adrenalin injection on osmotic resistance of red cell (0.3 mg of adrenalin was injected intravenously).

に弱いということを示している。

以上を総合すると次のようになる。

1. 正常運動犬の血漿または血清中には血球膜を傷害する因子が含まれている。

2. この因子は脾臓を摘出することにより運動を行なっても現れられない。

3. 脾臓内には血球膜を傷害する物質がたくわえられている。

これらのことより運動犬に現われる血球膜の抵抗減弱の原因はこの脾臓内にある血球膜傷害因子（または溶血物質）によると判断した。

7. 脾臓内血液中の血液膜傷害因子の検討と運動による傷害因子の放出

上に述べたように運動負荷時に赤血球の膜抵抗が低下する理由は脾臓を有する犬の血漿中に含まれる血球傷害因子が運動によって激しく放出されるためであることに間違いのないと思われる。勿論著者は血液循環の促進によって赤血球が狭い毛細管内を通過する際に平松⁴⁾、山田³⁾が指摘したように摩擦によって若干血球がこわれ易くなる可能性を否定するものではないが、それ以上に脾臓から放出される溶血促進因子の方が大きな役割を演じていることを強調したい。

ところで運動負荷時には血中アドレナリン値が上昇したり、あるいは大内臓神経の興奮によって腹部内臓の血管収縮が起ることは周知の事実であるが、これと同時に脾臓の収縮が起ることも知られている²¹⁾。したがって脾臓から放出される溶血促進因子についてその性質を追求する前にアドレナリンが溶血に関係するか否かを検討しておく必要がある。

アドレナリンの分泌が増せば血中遊離脂肪酸のレベルが上昇するのであるが、Selye²²⁾はこのような脂質の動員に際し溶血性 lecithin が現われて赤血球を破壊しやすくなることを示唆している。しかしながら吉村⁷⁾によると人体について高脂肪食を摂取せしめて血中の遊離脂肪酸値を上昇させて、同時に赤血球膜の抵抗を測定したところ、これに変化を認めなかった。したがって Selye のいうように血中遊離脂肪酸値の

上昇に伴って溶血促進物質が現われるとは考え難い。一方吉村ら²³⁾はラットを用いて実験的にアドレナリンを注射しつづけてみると注射開始後3～5日目に運動中に見られたものと同じ型の貧血および赤血球膜の抵抗減弱を認めた。

著者は図9に見る如く脾静脈血を採取する際に、アドレナリンを投与すれば、脾臓から著しく抵抗の減弱した血球が流出することを確認したのである。したがって運動によって血球抵抗の減弱する理由はアドレナリンによる脂質動員に関係するものではない。

それでは脾臓においてどのようにして抵抗の弱い血球が作成されるのか、また脾臓にある血球傷害因子は何であるかを検討してみたい。

脾臓の生理的な機能の一つに血液を比較的静止した状態で貯溜する²⁴⁾という働きがある。前述したように血球が静止状態にて貯溜される時には lysolecithin という血球傷害因子（または溶血物質）の発生することが知られている。したがって脾臓内にてこのように血液が比較的静止している場合には、強力な溶血物質が多量に産出され、かつ長く強く血球に作用するであろうことが考えられる。また著者や大塚⁶⁾も静止した状態で血液を incubate すれば血球の膜抵抗が減弱することを経験したことはすでに述べたところである。また最近教室の百田ら²⁵⁾は血液を incubate した際やアドレナリン投与の際の脾静脈血の lysolecithin 値を測定して、これが全身循環血に比して顕著に増加していることを確かめている。

本実験においても激しい運動という stress に対してその初期には Selye²⁶⁾ のいう alarm reaction としてアドレナリンの分泌が高まりこれが脾臓を収縮させることにより、lysolecithin を多量に含有する血液が循環血液中に放出された結果、循環中の血球の破壊が促進され、運動性貧血を惹起せしめたものと解釈している。また脾臓内に貯えられて抵抗性を減じた血球が流血中に混じてくればその全身血全体としての血球抵抗性の低下する一因となることも首肯せられる。

8. 脾臓摘出犬による血球膜抵抗増強の原因すでに4項cに述べたように脾臓を摘出した犬の赤血球抵抗性は増加する。元来lysolecithinは流血中にも少量ではあるが常に存在する物質であるが、脾臓を摘出することにより、大量に産生される場所が取り除かれたことになる。したがって安静期においても図4に示したように、脾臓を持った犬よりも赤血球膜の抵抗は強くなり、さらに運動負荷を行なってもlysolecithinが大量に循環血液中に流出しないために、摘脾犬では血球抵抗の減弱も起らず、したがって運動性貧血も惹起されないものと解釈している。しかしながらこれだけでは理解できないことが図6に示されている。それは運動後期に入ると摘脾犬においては網状赤血球が増加しないにもかかわらず(図3)、赤血球の抵抗は摘脾犬の安静期の値よりも増強されている(図6)。これは次のように説明できる。すなわち激しい身体運動はstressとして働き、その初期にはSelye²⁶⁾のいうようにstage of alarm reaktionであり、アドレナリンの分泌は高まり、正常犬では脾臓を収縮させ溶血性物質を血中に増量させて貧血が起るのであるが、摘脾犬においてはこの時期が赤血球の変化としては現れられない。しかし次のstage of resistanceの時期になると血中のcorticoidsが増量してくる。Corticoidsによって赤血球膜の抵抗が増強することは吉村ら²³⁾によっても明らかにせられ、ラットにcortisoneを注射し、その赤血球の抵抗性を測定した時には対照に較べてその抵抗性は増強されている。したがって摘脾犬を運動に訓練するとこのような副腎皮質機能の亢進によって抵抗の強い赤血球が現られるものと思われる。

要するに以上述べてきた運動性貧血もstressに対する適応症候群の一環として理解すべきものであろう。

総 括

1. 犬に激しい運動負荷を加えるとその初期において運動性貧血が生じる。ところがあらかじめ脾臓を摘出した犬では、このような貧血は

出現しない。

2. このような運動性貧血は血球膜抵抗性の減弱に由来するものであって、比較的膜抵抗の弱い赤血球から順次破壊され、一方運動負荷日数が長くなると膜抵抗の強い新生赤血球が流血中に増加し徐々に貧血が回復する。

3. 運動犬の血漿成分と非運動犬の血球成分とをincubateする方法により血球膜の抵抗性を減弱せしめる因子は脾臓によって産生された溶血物質(lysolecithin)が循環血漿中に増加したことによる。

4. これらの事実より運動性貧血の本態は激しい筋運動によるstressがアドレナリンの分泌を高め、脾臓を収縮させることにより、脾臓内にて産生された溶血物質(lysolecithin)が循環血漿中に放出され、これが赤血球の膜抵抗を低下させ、血球の破壊を促進せしめた結果であると考えられる。

4. 脾臓を摘出することにより、lysolecithinの産生が低下する結果、血球膜の抵抗性は強まり、運動を負荷してもlysolecithinが流血中に増量しないために、摘脾犬では運動性貧血は惹起されない。

最後に稿を終るに臨み、本研究を通じて、絶えず懇切な御指導と御校閲をいただいた吉村寿人教授に対し深く感謝の意を表すと共に、動物実験に際し助力いただいた百田丈二学士、外教室の諸氏に深く敬意を表します。

文 献

- 1) Broun, G. O. (1922) Blood destruction during exercise. 1. Blood changes occurring in the course of a single day of exercise. J. Exper. Med. **36**, 481-500
- 2) Broun, G. O. (1923) Blood destruction during exercise. 11. Demonstration of blood destruction in animals exercised after prolonged confinement. J. Exper. Med. **37**, 113-130
- 3) 山田敏男(1958)運動鍛錬時の赤血球の性状に関する研究 第2報 運動鍛錬の赤血球の抵抗性について 体力科学 **7**, 242-251
- 4) 平松成辰(1960)筋運動時の赤血球破壊の原因に関する研究 (運動鍛錬時の赤血球性状の変化とその生理的意義 第1報) 日本血液学誌 **23**, 65-73
- 5) 吉村寿人(1958)運動鍛錬時の貧血に関する研究

- 体力科学 **8**, 167-168
- 6) 大塚愛子 (1966) 運動鍛錬時の運動性貧血発生要因について 同志社女子大学学術研究年報 **81**-107
 - 7) Hisato Yoshimura (1966) Sports anemia in physical activity in health and disease 74-78, Ed. by K. Evang & K. L. Andersen. Universitetsforlaget, Oslo.
 - 8) 山田敏男 (1958) 運動鍛錬時の赤血球の性状に関する研究 第1報 赤血球新生破壊におよぼす運動鍛錬の影響 体力科学 **7**, 231-241
 - 9) Wintrobe, M. M. (1956) Clinical hematology 4th Ed. 648, Lea & Febiger, Philadelphia
 - 10) Selye, H. (1950) Stress 1st Ed. 404, Acta, inc. Montreal, Canada
 - 11) Singer, K. et al. (1941) Hematologic changes following splenectomy in man, with particular reference to target cells, hemolytic index and lysolecithin. Am. J. Med. Sc. **202**, 171-187
 - 12) Bergenhem, B. und Fhråeus, R. (1936) Über spontane Hämolysinbildung im Blut, unter besonderer Berücksichtigung der Physiologie der Milz. Ztschr. f. d. Ges. Exper. Med. **97**, 555-587
 - 13) Singer, K. (1940) The lysolecithin fragility test. Am. J. Med. Sc. **199**, 466-477
 - 14) Collier, H. B. (1944) Lysolecithin and the anti-hemolytic value of the blood. J. Lab. and Clin. Med. **29**, 1123-1133
 - 15) Swisher, S. N. and Young, L. E. (1961) The blood grouping systems of dogs. Physiol. Rev. **41**, 495-520.
 - 16) 金井 泉 (1960) 臨床検査法提要 20版 VI-11 金原出版株式会社 東京
 - 17) 金井 泉 (1960) 臨床検査法提要 20版 VI-39 金原出版株式会社 東京
 - 18) 金井 泉 (1960) 臨床検査法提要 20版 VI-21 金原出版株式会社 東京
 - 19) 白木啓三・他 (1967) 第8回日本アイトープ会議 東京
 - 20) Broun, G. O. (1923) Blood destruction during exercise. 111. Exercise as a bone marrow stimulus. J. Exper. Med. **37**, 187-206
 - 21) Barcroft, J. & Stephens, J. G. (1927) Observation upon the size of the spleen. J. Physiol. **64**, 1-22
 - 22) Selye, H. (1950) Stress 1st Ed. 143, Acta, inc. Montreal, Canada
 - 23) Hisato Yoshimura (1965) Studies on protein metabolism in hard muscular work in relation to its nutritional requirement. Proc. Symposia on Arctic Biology and Medicine Ed. by L. Vaughan Arctic Aeromedical Laboratory, Alaska
 - 24) McNee, J. W. (1931) The spleen: its structure, function, and disease. Lancet **220**, 1009-1014
 - 25) 百田丈二・他 (1967) 運動性貧血時における血中 Lysolecithin の定量 第21回日本体力医学会総会 埼玉
 - 26) Selye, H. (1950) Stress 1st Ed. 52, Acta, inc. Montreal, Canada

〔原著〕 γ -Aminobutyric acid (GABA) の脳機能に対する
生理学的意義に関する研究 612.82 : 612.014.469

I. α -Chloro- γ -aminobutyric acid (α -Cl-GABA) と GABA
の薬理学的作用の類似性について

白 石 武 昌*・原 俊 昭**

The physiological significance of γ -aminobutyric acid (GABA) in the brain function. I. The pharmacological similarity of α -chloro- γ -aminobutyric acid (α -Cl-GABA) to γ -aminobutyric acid (GABA)

Takemasa Shiraiishi・Toshiaki Hara (Department of Physiology, Tokyo Medical College)

It has universally been acknowledged that GABA has a poor permeability through the blood-brain barrier and so extrinsic GABA shows only very slight actions on brain functions.

This situation makes it difficult to determine the physiological role of GABA in the brain. α -Chloro- γ -aminobutyric acid was synthesized and proposed by Dr. H. Takahashi and some members of the Daiichi Central Institute as a candidate that has similar pharmacological actions to GABA and some excellent permeability through the blood-brain barrier.

This study concerns with the pharmacological similarity of this substance to GABA.

It is especially interesting that α -Cl-GABA is essentially the same neuropharmacological agent as GABA. [J. Physiol. Soc. Japan (1968) 30, 109-113]

脳内に高濃度で存在すること¹⁾²⁾³⁾が発見されて以来、 γ -アミノ酪酸 (GABA) の生理学的意義に関する研究は広汎に展開されてきた。

この研究の路線として、生体内に γ -アミノ酪酸を投与した場合、脳機能に如何なる影響が生ずるかという問題についても幾多の研究が行なわれている。しかし、GABA を生体内に投与した場合、血中濃度を高い値に維持することが不可能で、脳内への移行が低く、この領域の研究成果は意外に少いのが現状である。この隘路の打開の一方法としては、直接作用が GABA と殆んど同一で、血中濃度が保持でき、脳内への移行も高い物質を発見し、それを GABA の代行者として用いることである。

高橋⁴⁾ は第一製薬株式会社中央研究所と協力し、幾多の GABA 誘導体の薬理作用を検討し、 α -chlor-GABA が上述の条件を満しうものであることを示唆した。本論文においては、

α -chlor-GABA と GABA の薬理作用の比較について報告する。

実験方法

ザリガニの第8胸節の伸展受容細胞を神経をつけて剔出し、Harreveld 液に浸し、適当な張力をかけて伸展受容細胞に発生する discharge を神経線維より誘導した。適当な濃度の試験物質を含む試験液で正常 Harreveld 液を置換し、試験物質の抑制作用を検討した。

家兎および猫の脳皮質を露出し、刺激電極と誘導電極の距離を 1 mm ないし 2 mm として、direct cortical response (DCR) を誘導した。試験液を誘導電極の置かれた部位に滴下して、DCR に対する影響を検討した。電極には直径 0.5 mm のボール状の銀電極を使用し、時定数 0.5秒の増幅器で増幅し、ブラウン管オシログラフで記録した。

Nembutal 麻酔下の家兎の総頸動脈の血圧を strain gauge により電気的に変換する電気式血圧計 (日本光電製) により測定した。試験物質は

* 東京医科大学生理学教室

**現 熊本大学医学部生理学教室

〔昭和42年10月24日受付〕

耳静脈内に注射した。呼吸も気管内圧を strain gauge により電氣的に変換して測定し、記録はインクライテングオッシログラフによって行なった。

モルモットより回腸片を摘出し、Magnus 法によりその収縮をキモグラフィオンで描記した。試験液は溶液に滴下し、最終濃度を適当な望む濃度に調整した。試験物質は1分間作用させ、直ちに洗除し、新鮮な Tyrode 液に2分間放置した後、次の実験を行なった。

実験成績

I. ザリガニの伸展受容細胞に対する抑制作用

Slow adaptive type の伸展受容細胞に一定の張力を加えると、ほぼ一定した頻度の discharge が持続する。この条件下で GABA, β -hydroxy-GABA, α -Cl-GABA を作用すると、いずれの場合にも discharge の頻度が減少し、抑制効果

が認められた。三者中 GABA が最も強力であったが、GABA の場合には適用後直ちに作用は maximum に達するが、時間と共に減弱して行き、溶液を攪拌または振盪する等のごとにより、再び作用が強化された。作用の減衰は濃度により異なるが、ほぼ1分以内に始まり、高濃度程著明に観察された。

一方、 α -Cl-GABA は適用後直ちに作用が maximum に達し、その後長く作用が不変のまま続いた。

表1は4~5例の標本を使用して行なった三物質の濃度と作用強度の関係を総括したもので、作用強度は最大値を採用し、作用前の発火頻度の%で表現し、作用前の値を100として、その差を抑制率(%)とした。各濃度は約1分間作用し、洗除後発火頻度が作用前に回復した後、次の実験を行なった。

表1の成績をみると、 α -Cl-GABA, β -hydroxy-GABA は GABA の1/3程度の作用強度と考

Table 1. The comparison between inhibitory actions of GABA, β -OH-GABA and α -Cl-GABA on the crayfish stretch receptor

Compound	Inhibition of firing rate (%)					
	$1 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$ (mole/l)
GABA	37.4	70.8	100			
β -hydroxy-GABA	—	25	34	50	75.2	—
α -chlor-GABA	—	24	32	—	64	100

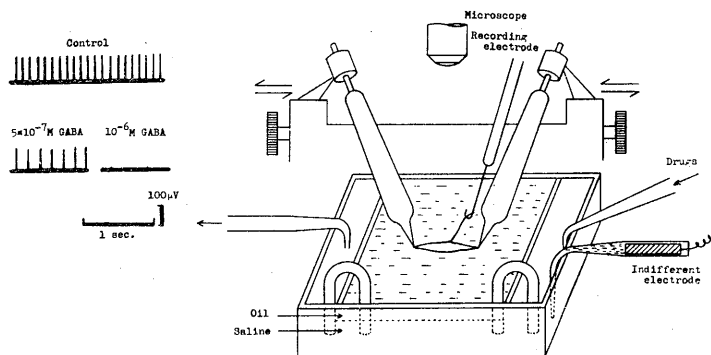


Fig. 1. Experimental set-up and effect of GABA on the repetitive discharges of a slow adaptive stretch receptor of a crayfish.

えられるが、作用持続性にそれ以上の大差があるので、評価は困難である。

II. 大脳皮質誘起電位に対する作用

家兎、猫の大脳皮質誘起電位に対する GABA の作用については多くの研究報告⁵⁾⁶⁾⁷⁾が発表されており、いわゆる“phase reversal”作用が証明された。

家兎の area postcentralis および猫の gyrus sigmoides posterior の DCR に対する α -Cl-GABA の作用を検討すると作用様式は GABA の場合と全く同一で、いわゆる“phase reversal”が認められた。

次に GABA, β -hydroxy-GABA, α -Cl-GABA の種々の濃度 (0.01~0.5%) のものを作用し、Chang⁸⁾ のいわゆる primary negative spike に対する抑制効果を家兎 6 匹、猫 6 匹について比較した。この種の実験では正確なことはいえないにしろ、三者の作用強度の間には大差は認められなかった。

図 2 は α -Cl-GABA の DCR に対する作用について例示したものである。

III. 家兎の血圧に対する作用

家兎 5 例に α -Cl-GABA 0.5~5 mg/kg を静脈注射して、血圧、呼吸に対する影響を観察した。また、同一標本に GABA を同量静脈注射し、作用を比較した。

α -Cl-GABA の静脈注射により血圧は速やかに低下し、最低値に低下した後、徐々に回復した。その際、bradycardia も明瞭に認められた。

呼吸は変化が軽度の場合と一過性に血圧の劇しい降下相と一致して抑制の認められる場合があった。

図 2 は α -Cl-GABA 2 mg/kg の耳静脈内注射による血圧、呼吸の変化を示す。

α -Cl-GABA と GABA の血圧に対する作用は強度 (最高低下度)、持続時間の点、bradycardia の出現等から、ほぼ同様のものではあった。 α -Cl-GABA の血圧降下作用に関する詳細な検討については他の論文で発表の予定である。

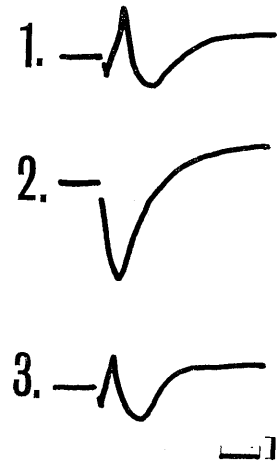


Fig. 2. Effect of α -Cl-GABA on the direct cortical-response of a rabbit (2.4 kg). Corticograms (retouched) show responses recorded on the post-central area. 1. Before application. 2. 1 min. after the topical application of 0.05% α -Cl-GABA. 3. 10 min. after washing out with fresh Ringer. Horizontal bar 50 msec. Vertical 1 mV.

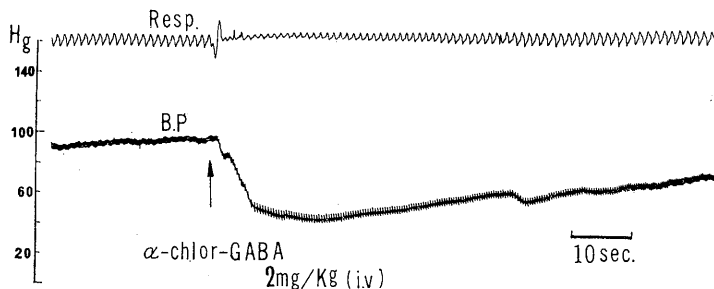


Fig. 3. Effect of α -Cl-GABA on blood pressure and respiration. Rabbit (2.5 kg) under pentobarbital (25 mg/kg) anesthesia. α -Cl-GABA (2 mg/kg) was injected intravenously. Resp : respiration. B. P. : blood pressure. Time scale : 10 seconds.

Table 2. The pharmacological similarity of α -chlor-GABA to GABA

Compound	Stretch receptor (crayfish)	Evoked potentials of the cerebral cortex (rabbit, cat)	Blood pressure (rabbit)	Excised ileum strip (rabbit, guinea pig)
GABA	Inhibition	Inhibition of the surface-negative component, phase-reversal, etc.	Fall	Relaxation or/and tonus-increase
α -Cl-GABA	Inhibition	The similar actions	Fall	The similar actions

IV. モルモット回腸片に対する α -Cl-GABA の作用

GABA⁹⁾ および GABA 誘導体¹⁰⁾ のモルモット回腸片に対する作用については、高橋等により詳細に報告されている外、GABA については Hobbiger¹¹⁾、井上等¹²⁾ の報告もある。

α -Cl-GABA のモルモット回腸片に対する作用は 10^{-4} mole/l 以上の濃度で明らかに認められ、収縮および（あるいは）弛緩が生じた。しかし、その程度は GABA に比し、幾分弱いように思われた。

考 察

α -Cl-GABA は GABA の α -位に Cl 置換を行なったのみで、化学構造上 GABA にかなり近い物質である。しかし、GABA の chemical structure と薬理学的作用はその構造にかなり specific で、置換体の作用は著しく変動するものである。

この研究においては、 α -Cl-GABA と GABA の薬理学的作用を主として blood-brain barrier 等の複雑な因子をのぞいた場合について検討した。その成績を総括すると表 2 の如くであった。GABA と α -Cl-GABA の薬理学的作用は極めて類似しており、その作用強度も接近したものと見える。

ザリガニの伸張受容細胞に GABA を作用した場合、作用が一過性で、直ちに作用の減衰の生ずること、攪拌すると作用の回復の認められることは Kuffler 等¹³⁾ により発見された。しかるに、 α -Cl-GABA の場合、以上の現象の生じ

ないことは、GABA の代謝系によっては α -Cl-GABA が破壊され難いことを示唆するものと考えられ、この研究を推進する上において極めて意義深いことと考える。

総 括

ザリガニの遊離伸張受容細胞、家兎、猫の大脳皮質誘起電位、家兎、猫の血圧、呼吸、モルモットの剔出回腸片に対する GABA と α -Cl-GABA の作用を比較、検討し、両者の作用は極めて類似しているが、後者は神経組織において GABA よりも破壊され難いとの示唆をえた。

稿を終るに臨み、本研究を終始御指導、御鞭撻、御校閲を賜った高橋日出彦助教に深甚なる謝意を表します。

また、本研究に当り、実験費用、器具の提供等の数々の御助力を頂いた薬理学中央研究所および所員の方々に感謝致します。

文 献

- 1) Awapara, J. (1950) Occurrence of free γ -aminobutyric acid in brain and its formation from L-glutamic acid. *Texas Reports on Biology and Medicine*. **8**, 443-447
- 2) Roberts, E. & Frankel, S. (1950) γ -Aminobutyric acid in brain; its formation from glutamic acid. *J. B. C.* **187**, 55-63
- 3) Udenfriend, S. (1950) Identification of γ -aminobutyric acid in brain by the isotope derivative method. *J. Biol. Chem.* **187**, 65-69
- 4) 高橋日出彦 (1964) γ -アミノ酪酸 (GABA) の生理と薬理 塚田裕三編 脳の生化学 第1版, 327-350 医学書院, 東京
- 5) Iwama, K. & Jasper, H. H. (1957) The action of

- gamma aminobutyric acid upon cortical electrical activity in the cat. *J. Physiol.* **138**, 365-380
- 6) Purpura, D. P. (1960) Pharmacological actions of ω -amino acid drugs on different cortical synaptic organizations. Inhibition in the nervous system and gamma aminobutyric acid. (ed. by Roberts, E.) Pergamon Press. New York. p. 495-514
- 7) Takahashi, H. et al. (1960) Effect of γ -aminobutyric acid (GABA) on strychninization of the mammalian cerebral cortex. *Jap. J. Physiol.* **10**, 106-118
- 8) Chang, H. T. (1951) Dendritic potential of cortical neurons produced by direct electrical stimulation of the cerebral cortex. *J. Neurophysiol.* **14**, 1-21
- 9) Takahashi, H. et al. (1961) Relationship between pharmacological actions on the mammalian ileum and chemical structure of γ -aminobutyric acid. *Jap. J. Physiol.* **11**, 229-237
- 10) Takahashi, H. et al. (1961) Anti-stimulant actions of γ -aminobutyric acid and its derivatives on the guinea-pig ileum. *Jap. J. Physiol.* **11**, 476-485
- 11) Hobbiger, F. et al. (1958) Effects of γ -aminobutyric acid on the isolated mammalian ileum. *J. Physiol.* **142**, 147-164
- 12) Inouye, A. et al. (1960) Studies on the effects of γ -aminobutyric acid on the isolated guinea-pig ileum. *Jap. J. Physiol.* **10**, 167-182
- 13) Dudel, J. & Kuffler, S. W. (1961) Presynaptic inhibition at the crayfish neuromuscular junction. *J. Physiol.* **155**, 543-562



〔原著〕

γ -Aminobutyric acid (GABA) の脳機能に対する

生理学的意義に関する研究 612.82 : 612.014.469

**II. α -Chlor- γ -aminobutyric acid (α -Cl-GABA) の脳内分布と
体内諸臓器分布について**

白石 武昌・大堀 哲男*

The physiological significance of γ -aminobutyric acid (GABA) in the brain function. II. Distribution of α -chloro- γ -aminobutyric acid (α -Cl-GABA)-1-C¹⁴ in the rat

Takemasa Shiraishi and Tetsuo Ohhori (*Department of Physiology, Tokyo Medical College*)

It has been reported by many investigators that GABA has a very poor permeability through the blood-brain barrier.

On the contrary, α -chloro- γ -aminobutyric acid (α -Cl-GABA) that is one of the pharmacologically similar derivatives of GABA was found to have much greater permeability through the blood-brain barrier by autoradiographic as well as strychnine-spike method (after Dr. H. Takahashi).

α -Cl-GABA-1-C¹⁴ injected intravenously or intraperitoneally distributed into the whole body of the rat.

The autoradiograms show that α -Cl-GABA-1-C¹⁴ distributes much richer in the kidney, the liver and the spleen than in the other organs.

In the central nervous system it distributes with the following descending order : pons, medulla ; subthalamus and hypothalamus ; neocortex, plexus choroidea, cervical spinal cord ; cerebellum, archi- and paleo-cortex, basal ganglia.

[J. Physiol. Soc. Japan (1968) 30, 114-119]

α -Chloro- γ -aminobutyric acid (α -Cl-GABA) が GABA とほぼ等しい薬理学的作用を有することゝが証明できたので α -Cl-GABA を温血動物に投与した場合、体内に如何なる分布をするか、特に脳内に移行するや否やの問題を検討した。

実験方法

ラットおよび家兎を使用した。ラットに対しては、 α -chloro- γ -aminobutyric acid-1-C¹⁴ (specific activity-0.9 mc/mmole) を静脈内注射した後30分して、あるいは腹腔内注射して60分後に麻酔死させ、主要臓器を別出し、10%ホルマリンまたはブアン液で固定した。各臓器の組織標本より dipping method により autoradio-

gram を作製した。染色はヘマトキシリンエオジン二重染色を用いた。

また、家兎の大腦皮質を露出し、0.1% strychnine 液に浸した2×2 mm の濾紙を皮質に適用し、ほぼ一定の頻度で一定振巾の strychnine spike が発生した後、試験物質を静注し、スパイクに対する影響を比較した。Strychnine spike が群発するもの、著明な convulsion の発生したもの、大腦皮質に損傷を与えたものはすべてすてた。この方法を strychnine spike method (高橋) と略称する。

実験成績

I. ラット体内における α -Cl-GABA の分布

α -Chloro- γ -aminobutyric acid-1-C¹⁴ を 200 μ c 体重 220 g のラットに静脈注射して30分後に

* 東京医科大学生理学教室
〔昭和42年11月6日受付〕

剔出した主要臓器から作成した autoradiogram から α -Cl-GABA の体内における分布を検討した。 α -Cl-GABA は腎、肝、脾の順に多量に分布し、睾丸、副腎等にも認められた。中枢神経系にもかなりの分布が認められた。

Plate には諸臓器の autoradiogram を示し、それらの所見の大意は次の如くであった。

腎においては isotope は、糸球体、間質などに多量に存在し、細尿管内にも豊富に分布し、尿内に排泄されることを期待させる。

肝においては小葉間静脈から中心静脈に至り、小葉下静脈の細かい介在静脈までの血管内およびその周囲に分布し、グリソン氏鞘内、肝細胞胆細管内にも多く認められた。

脾においては、脾髄、特に脾小節内、脾洞内に多く分布し、その他赤脾髄および各血管(莢動脈、脾柱静脈、筆毛動脈、中心動脈内部およびその周囲にも isotope は認められた。

副腎においては、皮・髄質共に認められたが、髄質に比べ皮質の方がやや多く、なかでも束状層、毳状層よりも、網状層の方が多く分布していた。

睾丸では、間細胞および血管周囲、基底膜にそって、精粗細胞、一次精母細胞、セルトリ氏細胞の周囲に分布が認められた。

中枢神経系における isotope の分布については、体重 240 g のラットに α -Cl-GABA-1- C^{14} 300 μ c 腹腔内注射後 60 分して剔出した脳、脊髄から作製した autoradiogram を検討した。

脳内に汎く isotope は分布しているが、pons および medulla に最も濃度が高く、subthalamus, hypothalamus がこれに次いでいる。Cortex では neocortex の方が旧古皮質よりも分布が高い。Plexus choroidea および脳室内にも isotope の存在が認められるのは興味深い。新皮質においては各種神経細胞内に isotope が移行しているのみならず、大型の錐体細胞の dendrites およびその周囲に isotope の存在を認めた。

脊髄においては頸髄において isotope の分布はかなり高く、下部に行くにつれて減少し、腰髄以下では殆んど認められなかった。脊髄においては前柱の motoneurons に最も分布が密であった。

表 I は脳、脊髄における分布の大意を示すものである。

II. Strychnine spike method (高橋) による α -Cl-GABA の大脳新皮質の blood-brain barrier 通過性について
直接大脳皮質に適用した場合に strychnine

Permeability through the blood-brain barrier in the cortex (Strychnine spike method)

Compounds	Effective dose (mg/kg)
D-Glutamine	40
Trimethadione	80-100
α -Chlor-GABA	200
GABA	> 2000

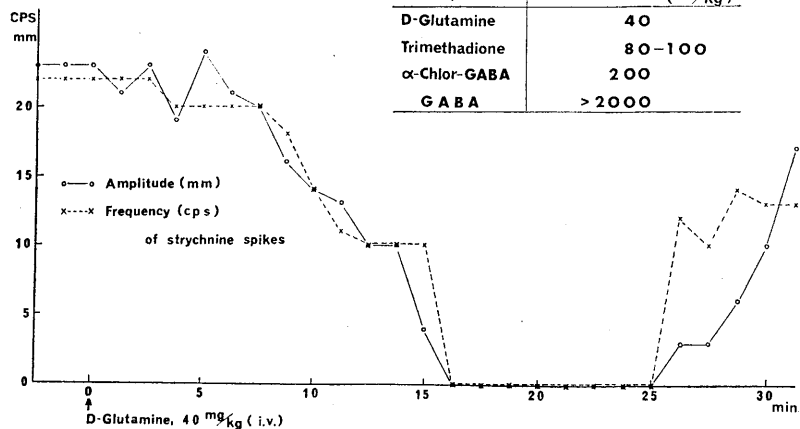


Fig. 1.

spike に影響を与える物質については、静脈注射を行なって strychnine spike に影響が認められる時、その物質は blood-brain barrier を通過して有効濃度に達したものと考える。これが strychnine spike method の原理である。この方法では精密な定量的実験は行ないえないが、手技が簡単で、しかも大様は把握しようという利点がある。

本実験においては、standard substance として D-glutamine を選んだ。D-glutamine を直接大脳皮質に適用すると direct cortical response の surface negative component に対して抑制効果を示し、いわゆる“phase reversal”を生ずることは、すでに当研究室において報告している²⁾。D-glutamine を選んだのは、作用様式が GABA と類似性があり、しかも blood-brain barrier を良く通過するからである。

D-glutamine を耳静脈に注射した場合、5例の実験において常に 40 mg/kg で明瞭な strychnine spike 抑制作用が認められた。その典型的な実験例を図1に示した。

すなわち、注射後数分にして作用が発現し、十数分で最大に達し、25分以後、次第に消失して行く。

ほぼ同様の効果をうるには trimethadione で、80~100 mg/kg、 α -Cl-GABA では 200 mg/kg を要し GABA では 2 g/kg でも尚影響を認めなかった。

α -Cl-GABA の静脈注射の場合しばしば一過性に strychnine spike の極性の逆転を認めた。

D-glutamine と α -Cl-GABA の大脳皮質直接作用を direct cortical response, strychnine spike について比較すると、前者は後者の約 1/4 と評価された(%濃度)。

したがって、大脳新皮質の blood-brain barrier の通過性は、 α -Cl-GABA は D-glutamine の約 1/20 と見当づけられる(mg/kg で比較すると)。

考 察

α -Cl-GABA-1-C¹⁴ を使用した実験により、

α -Cl-GABA が、脳脊髄に移行するということがほぼ証明された。唯、ここで問題になるのは、 α -Cl-GABA が分解されることなく、そのままの形で脳、脊髄に移行するかどうかということである。

塚田³⁾によると、 α -Cl-GABA は経口投与した場合にも、静脈注射した場合にも、あるいは脳内に注入した場合にも分解されず、そのままの形で長く存在しうる。また、大脳皮質切片による実験においても、 α -Cl-GABA は代謝的に inactive な物質であるという。

このことから、著者の実験において α -Cl-GABA がそのままの形で脳内に移行したと考えるのは当をえている。

なお、塚田³⁾は α -Cl-GABA-1-C¹⁴ をラットに腹腔内注射し、脳各部のホモジェネートより α -Cl-GABA-1-C¹⁴ を抽出し、paper chromatography を行ない、定量している。

このことよりしても、著者の autoradiogram の黒点は α -Cl-GABA-1-C¹⁴ そのものの存在を示すものといえる。

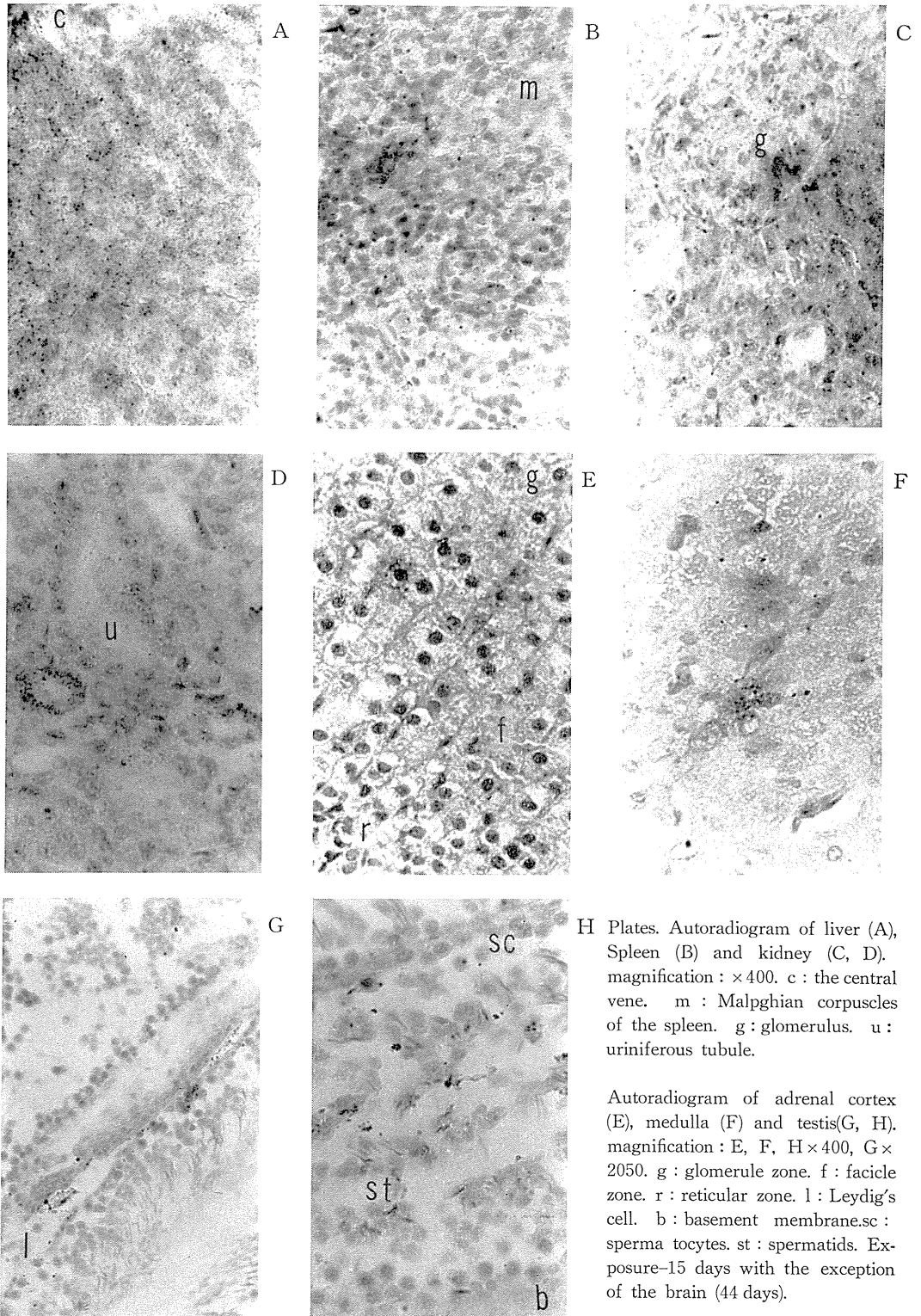
GABA の blood-brain barrier 通過性については一般に極めて通過し難いと考えられている⁴⁾。

一方、GABA が上位脳内に移行するという成績も発表されている⁵⁾⁶⁾。しかし、いずれにしても α -Cl-GABA の方が、遙かに通過性が大であることは著者の実験より明らかである。また、塚田³⁾によれば、GABA、 β -hydroxy-GABA を家兎に経口投与しても血中濃度は殆んど上昇しないが、 α -Cl-GABA は30分で血中濃度の明らかな上昇を認め、8時間以上その上昇が維持される。

以上のことより、 α -Cl-GABA は GABA と薬理学的作用がほぼ等しく、血中濃度の上昇を維持し、脳内に移行しうる物質であることが明らかである。

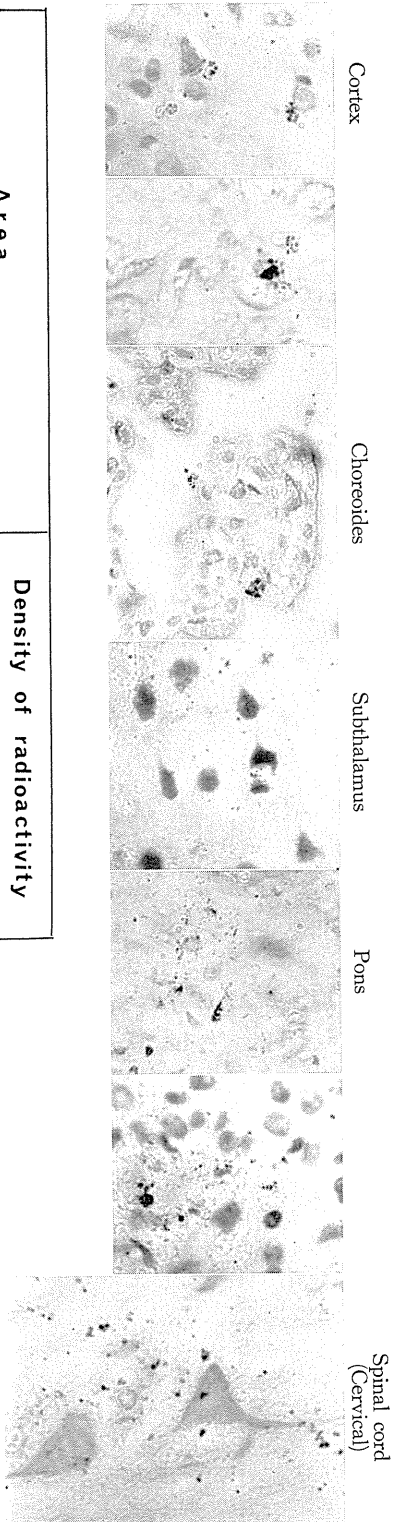
総 括

ラットおよび家兎を使用し、autoradiography および strychnine spike method により、 α -Cl-



H Plates. Autoradiogram of liver (A), Spleen (B) and kidney (C, D), magnification : $\times 400$. c : the central vein. m : Malpghian corpuscles of the spleen. g : glomerulus. u : uriniferous tubule.

Autoradiogram of adrenal cortex (E), medulla (F) and testis (G, H), magnification : E, F, H $\times 400$, G $\times 2050$. g : glomerule zone. f : fascicle zone. r : reticular zone. l : Leydig's cell. b : basement membrane. sc : spermatocytes. st : spermatids. Exposure—15 days with the exception of the brain (44 days).



Area	Density of radioactivity of $C^{14}-\alpha-Cl-GABA$	
Neocortex	++	
Hippocampus	+	
Amygdala	+	
N. caudatus	+	
Subthalamus	++	
Hypothalamus	++	
Plexus choroidea	++	
Hypophysis	+	
Cerebellum	+	
Pons and Medulla	++++	
Spinal cord	Cervical	++
	Lumbar	+

Table 1. Distribution of α -chloro- γ -aminobutyric acid- $T-C^{14}$ in a rat brain.

GABA が脳、脊髄内に移行しうることを証明した。 α -Cl-GABA の中枢神経系における分布は、pons, medulla で最も高く、subthalamus, hypothalamus, neocortex, plexus choroidea, 頸髄等がこれに次ぎ、その他の部位にも分布する。

体内主要臓器においては、肝、脾、腎において著るしく分布が高く、肝における処理機構と腎による排泄が予想される。

擱筆に当り、御指導御校閲を賜った高橋日出彦助教授、本研究に種々の御助力を頂いた小西六写真工業株式会社化学研究所平田明氏、東京医科大学病理学教室大高裕一教授、馬嶋正剛博士、東京医科大学解剖学教室川原群大助教授、東京医科大学放射線科村山弘泰講師ならびに研究費用、実験器具等の提供等の御援助を頂いた薬理学中央研究所ならびに所員の方々に感謝致します。

文 献

- 1) 白石武昌・他(1968) γ -Aminobutyric acid (GABA) の脳機能に対する生理学的意義に関する研究 I. α -chlor- γ -aminobutyric acid (α -Cl-GABA) と GABA の薬理学的作用の類似性について 日本生理誌 30, 109-113
- 2) 白田貞夫(1965) 大脳皮質ニューロンの電氣的活動に対する化学物質の影響 (新皮質ニューロンの薬理学的特徴) 日本生理誌 27, 500-513
- 3) 塚田裕三(1967) 私信
- 4) Tsukada, Y., Hirano, S., Nagata, Y. & Matsutani, T. (1960) Metabolic studies of gamma-aminobutyric acid in mammalian tissues. Inhibition of the nervous system and γ -aminobutyric acid. ed. by E. Roberts, 163-168 Pergamon Press. N. Y.
- 5) Wiechert, P. und Schröter, P. (1964) Der Einfluß von γ -Aminobuttersäure, L-Glutaminsäure und Glycin auf die Blut-Hirn-Schranke und die Enzymaktivitäten des Kaninchengehirns. Acta Biol. Med. German. 12, 475-480
- 6) Wood, J. D. et. al. (1963) Gamma-aminobutyric acid and oxygen poisoning. J. Neurochemi. 10, 625-633



Potential of postsynaptic depolarization by 5'-ribonucleotides in the crayfish muscle

Masahiro Ozeki and Masayasu Sato *

Department of Physiology, Kumamoto University Medical School, Kumamoto

It has recently been shown that stimulation of the tongue of the rat with sodium L-glutamate, to which a minute amount of 5'-ribonucleotides such as sodium 5'-guanylate (5'-GMP) and sodium 5'-inosinate (5'-IMP) were added, yielded in the chorda tympani nerve a response far greater in magnitude than that produced by sodium L-glutamate alone¹⁾²⁾³⁾. A similar potentiation of gustatory nerve response has also been observed by addition of sodium 5'-adenylate (5'-AMP) to sodium L-glutamate⁴⁾. However, only a very small synergistic effect was observed when sodium 5'-uridylylate (5'-UMP) or sodium 5'-cytidylate (5'-CMP) was added to sodium L-glutamate or when 5'-GMP or 5'-IMP was added to sodium D-glutamate¹⁾. On the other hand, it has been observed that L-glutamate produces contraction⁵⁾ and depolarization⁶⁾ in the crustacean muscle in relatively low concentration. Furthermore, L-glutamate produces a depolarization similar to the excitatory junctional potential (e. j. p.) in nature when applied electrophoretically to the junctional membrane of the crayfish muscle⁷⁾⁸⁾. In the present experiments, therefore, a possibility was examined whether an enhancement is observed in the magnitude of the e. j. p. and also of the L-glutamate-induced depolarization in the crayfish muscle when 5'-ribonucleotides are present in the medium bathing the muscle.

The nerve-muscle preparation of the first and second walking leg of the crayfish (*Procambarus clarkii*) was used in the experiment.

Excitatory and inhibitory axons were exposed in the meropodite and stimulated separately with suction electrodes. Excitatory and inhibitory postsynaptic potentials were recorded intracellularly with a glass micro-electrode filled with 3 M KCl or 2 M K-citrate from the abductor of the dactyl. L-Glutamate-induced depolarizations were recorded from the abductor of the carpopodite by the same technique employed previously⁷⁾⁸⁾. 5'-GMP, 5'-IMP, 5'-UMP, 5'-CMP and 5'-AMP, kindly supplied by Takeda Chemical Industries Ltd., were dissolved in normal crayfish saline⁹⁾.

The e. j. p. induced by repetitive stimulation of the excitatory nerve is demonstrated in Fig. 1, A. The magnitude of the e. j. p. s was increased significantly 15 min after replacement of the normal saline by the one containing 0.25 mM 5'-GMP and 45 min after it reached a value more than two times greater than the control value. The potentiation of the e. j. p. was greater when nerve was stimulated repetitively than with a single stimulus, as shown in Fig. 1, A. The first e. j. p. elicited by a series of stimuli shows only a very small enhancement in magnitude after addition of 5'-GMP to the saline solution, while the last of the series shows a remarkable enhancement. The time-course of each e. j. p. was not changed significantly by addition of 5'-GMP. The presence of 0.05-1 mM 5'-GMP in the saline produced an enhancement in the e. j. p. and the maximum enhancement was found with 0.2-0.5 mM 5'-GMP. The similar potentiation of the e. j. p. was also obtained by 5'-AMP, but neither by 5'-IMP, 5'-UMP nor by 5'-CMP. No poten-

* 尾関正寛・佐藤昌康；熊本大学医学部生理学
第2講座

[Received for publication October 30, 1967]

tiation of the inhibitory junctional potential was observed by the addition of 5'-GMP or 5'-AMP.

The L-glutamate-induced depolarization was found to increase in its magnitude but not in its time-course by the presence of 5'-GMP or 5'-AMP in the saline solution. Fig. 1, B illustrates the potentiation of the L-glutamate-induced depolarization by 5'-GMP. In this

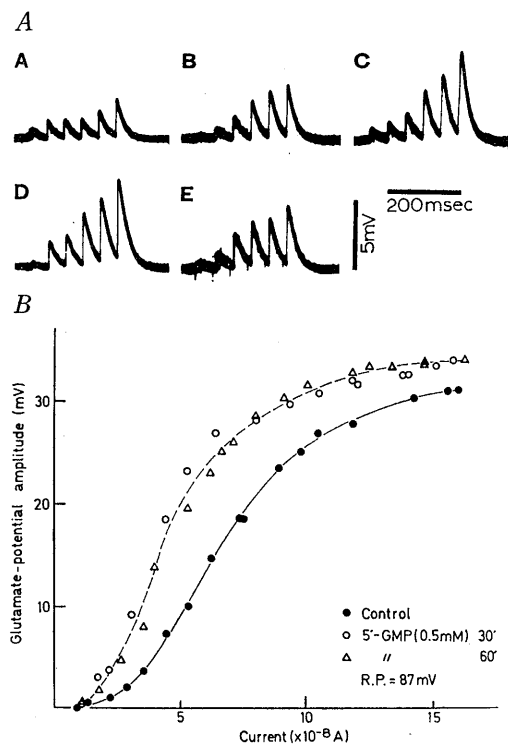


Fig. 1. A. Excitatory junctional potentials (e. j. p. s) produced by repetitive stimulation of nerve. A; e. j. p. s obtained in normal saline, B, C and D; e. j. p. s obtained 15, 45 and 60 min after immersion of muscle in saline solution containing 0.25 mM 5'-GMP, respectively, E; e. j. p. s 120 min after reimmersion of muscle in normal saline. B: Enhancement in the magnitude of L-glutamate-induced depolarizations by addition of 0.5 mM 5'-GMP in the saline solution immersing a muscle. Vertical axis; magnitude of L-glutamate-induced depolarization, horizontal axis; strength of currents passed through a L-glutamate-filled micropipette for 60 msec. Filled circles; depolarizations obtained in normal saline, empty circles; depolarizations obtained 30 min after immersion of the muscle in the saline solution containing 0.5 mM 5'-GMP, triangles; those 60 min after the immersion.

dose-response curve the magnitude of the L-glutamate-induced depolarization was increased significantly by addition of 5'-GMP to the saline solution. 5'-AMP was also found to increase the L-glutamate-induced depolarization. In view of the results obtained on the e. j. p. it would be possible to obtain a much greater potentiation of the glutamate-induced depolarization when short currents are passed repetitively through a glutamate-filled micropipette.

In the preliminary experiment it was examined whether 5'-GMP or 5'-AMP affects the resting membrane potential or the membrane resistance, but no significant effect was observed. Such results as described above, therefore, lead to the conclusion that the potentiation of the e. j. p. and of the L-glutamate-induced depolarization by 5'-GMP or 5'-AMP is produced as a consequence of facilitated binding of L-glutamate with excitatory postsynaptic membrane by the presence of 5'-ribonucleotide. The results described above not only yield evidence that neuromuscular transmission in the excitatory synapse of the crayfish muscle is enhanced by 5'-ribonucleotides but also supply a clue for elucidating the mechanism by which 5'-ribonucleotides potentiate the gustatory response to sodium L-glutamate.

References

- 1) Sato, M. and Akaike, N. (1965) *Jap. J. Physiol.*, **15**, 53
- 2) Sato, M. and Yamashita, S. (1965) *Jap. J. Physiol.*, **15**, 570
- 3) Sato, M., Yamashita, S. and Ogawa, H. (1967) *Olfaction and Taste* // ed. Hayashi, T., p. 399, Pergamon Press; Oxford
- 4) Hiji, Y. and Sato, M. (1967) *J. Physiol. Soc. Jap.*, **29**, 602
- 5) Robins, J. (1959) *J. Physiol.*, **148**, 39
- 6) Van Harrevelde, A. and Mendelson, M. (1959) *J. Cell. Comp. Physiol.*, **54**, 85
- 7) Takeuchi, A. and Takeuchi, N. (1964) *J. Physiol.*, **170**, 296
- 8) Ozeki, M., Freeman, A. R. and Grundfest, H. (1966) *J. Gen. Physiol.*, **49**, 1319
- 9) Van Harrevelde, A. (1936) *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **34**, 428

Reflex activity of the muscle in tetanus intoxication

Kohsi Takano * and Masaakira Kano**

* *Department of Physiology, School of Medicine, Chiba University Chiba, Japan*

** *Brain Research Institute, School of Medicine, Chiba University Chiba, Japan*

The convulsive effect of tetanus toxin on the central nervous system has been known since the classical work of Sherrington⁷⁾. From the view of alpha-motor system, it was clarified that the site of action of tetanus toxin is at the inhibitory synapses of motoneuron²⁾. On the other hand, the effect of tetanus toxin on the gamma-motor system have not been clearly revealed yet¹⁾⁴⁾⁶⁾.

Tetanus toxin of 80000 mouse lethal doses was injected subcutaneously just on the left triceps surae muscle of the cat. 18 to 24 hours after the injection, the symptoms of local tetanus were observed only on the injected muscle. Cat was anaesthetized lightly by mixture of urethane (300 mg/kg) and chloralose (30 mg/kg). The muscles on both sides were stretched simultaneously at different velocity using a pneumatic stretch apparatus⁸⁾. Both mechanical and electrical activities of experimental and control muscles were recorded.

Action potentials of the muscles, which were picked up by thick needle electrodes, were integrated by using the operational amplifiers (Fairchild, ADO-13).

We have briefly reported about the gamma activity of rigid cat in tetanus intoxication noting the time course of the muscle activity caused by pinna activation and electrical stimulation of internal capsule and dorsal roots of the spinal cord⁵⁾. On the rigid tetanus muscle

the long lasting activity elicited by pinna twist was eminent while it was not on the control muscle. By the moderate stimulation of internal capsule elicited larger and longer activation on the tetanus muscle than on the control muscle. It was suspected that these eminent long lasting activation were due to the enhancement of gamma-activity by the tetanus intoxication. Fig. 1 A shows one of the examples of the long lasting responses of the tetanus muscle¹⁾. The skin of the hip was pinched in this case. This reflex movement is an activity in the alpha-gamma-linkage, as such responses as to pinna twist and brain stimulation. Fig. 1 B shows the response of both tetanus (upper pair of traces) and control (lower pair) muscles to the stretching and slacking. No long lasting effect is observed after slacking of the muscle. The activity of the alpha-motoneuron, even if affected by tetanus toxin and the inhibition to the alpha-motoneuron is blocked²⁾, goes back immediately after the slacking to the level before stretching. The long lasting response elicited by the pinna twist and by the stimulation of internal capsule, dorsal root or skin, is due to the gamma-activation, while by the stretching of the muscle the gamma-activity is not changed but the bombardment of Group Ia discharges to the alpha-motoneurons becomes greater. The Group Ia discharge facilitates only the alpha-motoneuron but not the gamma-motoneuron³⁾. Therefore when the stretch is released, Group Ia discharges decrease and

* 高野光司：千葉大学医学部第1生理学教室

** 加濃正明：千葉大学医学部脳機能研究施設

[Received for publication October 31, 1967]

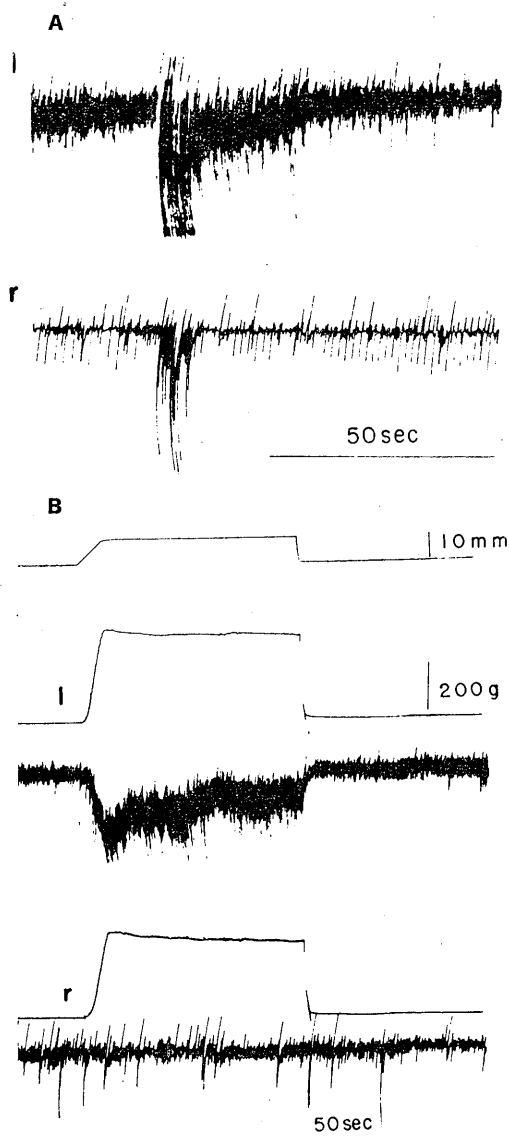


Fig. 1. Lightly anaesthetized tetanus cat. (A) Integrated electromyogram of the left rigid muscle (*l*) and right control muscle (*r*). The amplification is equal on both sides. Muscle movement is the response to the skin pinch. On the tetanus side, muscle activity lasted long after the phasic movement, while in the control muscle the activation did not last long. (B) Tension (each upper trace) and integrated electromyogram of the left rigid muscle (*l*) and right control muscle (*r*). Muscles on both sides were stretched linearly 10 mm at the rate of 1.0 mm/sec. The uppermost traces shows the change of muscle length. Tension records show the total of passive and reflex tension. After the slacking of the muscle there is no long lasting activation of the muscle.

hence the alpha-motoneuron activity also decreases.

It was concluded that the long lasting activity of intoxicated muscle by some of stimulation originated from gamma-system.

This study was performed at the Department of Physiology, Chiba University and partially supported by Alexander von Humboldt Foundation. We are indebted to Dr. Sakurai, Department of Hygiene, Chiba University for preparation of tetanus animals. We thank to Prof. Homma for discussing and to Dr. Ishikawa for reading the manuscript.

References

- 1) Andrew, B. L. & Barr, M. N. (1958) *J. Physiol.*, **141**, 40-41
- 2) Brooks, V. B., Curtis, D. R. & Eccles, J. C. (1957) *J. Physiol.*, **135**, 655-672
- 3) Eccles, J. C., Eccles, R. M., Iggo, A. & Lundberg, A. (1960) *Acta physiol. scand.*, **50**, 32-40
- 4) Erzina, G. A. (1961) *Fiziol. Zh. SSSR Sechenova* [Eng], **47** (8), 30-33
- 5) Kano, M., Sakurai, N. & Takano, K. (1967) *J. Chiba Med. Soc.*, **43**, 388-389
- 6) Kryzahnovskiy, G. N. (1967) In, *Principles on Tetanus*, ed. L. Eckmann, Hans Huber, Bern, pp 155-168
- 7) Sherrington, C. S. (1905) *Proc. Roy. Soc.*, **76B**, 269-297
- 8) Takano, K. & Henatsch, H.-D. (1964) *Pflüg. Arch. ges. Physiol.*, **281**, 104

Differential effects of dexamethasone on L-alanine and L-leucine incorporation into rat pituitary proteins

Sadao Hoshino,* Teiichiro Tonoue** and Kiyoshi Yamamoto**

Department of Physiology, Institute of Endocrinology, Gunma University, Maebashi,

Recent studies in our laboratory have shown that thyroidectomy causes a stimulation of uptake and incorporation of L-alanine into rat pituitary and that this stimulation is suppressed by thyroxine administration³⁾⁴⁾⁵⁾. Alanine incorporation into TSH-rich, basophilic granules of the pituitary was selectively influenced by the thyroid states⁶⁾. These results indicated that thyroid hormones exert their regulatory effects on the pituitary through TSH synthesis.

Since similar effects of glucocorticoids on the pituitary are expected, a study is now being carried out. In the course of this study, injected dexamethasone (DM), a potent synthetic glucocorticoid, was found to depress incorporation of L-alanine, but not of L-leucine, into rat pituitary proteins. Though the reason for this difference between alanine and leucine is not yet clear, this fact was considered to be of technical importance in similar further studies.

Materials and Methods: Adult wistar male rats, weighing around 150 g received a subcutaneous injection of DM. After 12 hrs, animals were sacrificed by decapitation and the anterior pituitaries were dissected, cleaned and incubated with amino acids. Amino acid incorporation was measured after the same method as previously described⁵⁾. L-Alanine-¹⁴C

(U) and L-leucine-¹⁴C (U) were purchased from Radiochemical Center, Amersham.

Results: Table 1 shows the differential effects of DM injected at a dose of 200 μ g/100 g body weight. Alanine incorporation was significantly depressed by DM injection, while no definite influence was observed on leucine incorporation. However, when a large dose (1000 μ g/100 g body weight) of DM was injected, an inhibitory effect was observable both on alanine and leucine incorporation, the effect being more remarkable on alanine incorporation (-32%) than on leucine incorporation (-14%).

The effect of DM was observed 12 hrs after DM injection but was not observable 3 hrs after DM injection.

Discussion: It is interesting that DM depresses significantly the alanine incorporation into pituitary proteins, since this depression of *de novo* protein synthesis suggests a mechanism by which the adrenal hormones control the pituitary function. The depressive effect of thyroxine on alanine incorporation into anterior pituitary proteins appeared 3 hrs after thyroxine injection³⁾⁵⁾. In contrast, the effect of DM was not observable 3 hrs but appeared 12 hrs after injection of DM. This difference seems to imply the difference in the mode of actions of these hormones.

The effect of DM on leucine incorporation was not detectable at a dose of DM, at which alanine incorporation was significantly depressed. The rate of amino acid incorporation may

* 星野貞夫：流動研究員（三重大学農学部）

**渡植貞一郎・山本 清：群馬大学内分泌研究所
生理学研究部

[Received for publication November 1, 1967]

Table 1. Effect of dexamethasone injection on alanine and leucine incorporation into rat pituitary proteins

Treatment	No. of Animals	Amino acid- ¹⁴ C incorporation	
		Cpm/mg protein	Percent diff.
L-Alanine*			
1 Control	6	10565 ± 462 ⁺	
DM injection	6	8147 ± 592**	-23%
2 Control	6	14472 ± 778	
DM injection	6	10427 ± 787	-28%
L-Leucine*			
1 Control	6	62775 ± 3052	
DM injection	6	68142 ± 4966	+ 9%
2 Control	6	86288 ± 4478	
DM injection	6	85114 ± 7918	- 1%

⁺ Mean ± standard error. * The same amount and specific activity of alanine and leucine were used: 3 mμmoles/ml and 0.5 μc/ml of incubation medium. **Difference from control, $p < 0.01$.

be affected by such factors as cell permeability, pool sizes of endogenous amino acids, and possible metabolic transformation of administered amino acids within the cells. Since leucine incorporation is several times greater than alanine incorporation (Table 1), some differences in these factors can be assumed between alanine and leucine. Further, in several tissues other than pituitary, changes in both amino acid transport²⁾ and in amino acid pools¹⁾ by glucocorticoids have been reported. It is not known whether differences and changes in these and other possible factors are connected with the differential effects of DM on alanine and leucine incorporation or not. The

detailed mechanisms remain to be clarified.

This work was supported by a grant from the Japanese Society for the Promotion of Sciences.

References

- 1) Bethel, J. J., Feigelson, M. and Feigelson, P. (1965) *Biochim. Biophys. Acta*, **104**, 92
- 2) Noall, M. W., Riggs, T. R., Walker, L. M. and Christensen, H. N. (1957) *Science*, **126**, 1002
- 3) Tonoue, T. and Yamamoto, K. (1967) *Biochem. Biophys. Res. Comm.*, **26**, 315
- 4) Tonoue, T. and Yamamoto, K. (1967) *Endocrinology*, **81**, 101
- 5) Tonoue, T. and Yamamoto, K. (1967) *Endocrinology*, in press.
- 6) Tonoue, T. and Yamamoto, K. (1967) Submitted for publication to *Jap. J. Physiol.*

江戸時代の実験生理学の先駆者伏屋琴坂の記念碑除幕式に列して

伏屋琴坂(1741—1811)が町医者でありながら江戸時代に腎のはたらきその他について研究し、1805年「和蘭医話」を著わし、また彼の自筆の覚え書が私の勤があたって三木栄博士により発見され、著書にのせてない研究があることがわかった。琴坂の研究は約160年埋れていたが、これをいまの世に明らかにすることができたことは私の喜びばかりではなく日本の生理学史にとっても重要と考えている。

幸いに今回琴坂ゆかりの大阪市北区のあみだ池和光寺境内に記念碑が建立されその除幕式が1967年11月10日の佳き日に行なわれた。碑文は慶大医史学の大鳥蘭三郎教授夫人によって揮毫され美しく見事にでき上った。これは日本医史学会と日本生理学会有志によってなされたものである。当日は伏見誓寛尼の読経献茶により行なわれ、関西の日本医史学会支部長 中野操博士、上記の三木栄博士、阿知波五郎博士、宗田一氏、長門谷洋治、同じく丈一父子が参会した。

また阪大生理の吉井・中間・岩間諸教授、解剖の伴教授、微生物研の藤野教授、医学概論の中川米造博士、大阪市立大学生理の木村・古河両教授、松田武氏、大木庸男氏、それに若い学生の藤本勝郎、鈴木伸典両君が参会した。私も参加することができた。

梨本宮妃の伊都子きみさまから賀の歌を頂いた。琴坂伏屋医伯碑の造立ききて、八十六廻 伊都子と前書きされて

かくれたるくすしの^く奇^きしき^わ文^ぶの^ま業

ひろく知らるる御代ぞ嬉しき

御年を召しておられるのに見事な水茎のあとを拝見し、琴坂先生が喜んで見守っていることを信ずる。私もうれしくて伊都子きみさまの御歌に和して琴坂先生にささげる歌を作った。

墨流し腎のはたらきしらべたる伏屋琴坂の偉業偲びぬ

町医者^の伏屋琴坂研究に同志とともにつくしたまひぬ

琴坂の記念碑成りてともどもに昔をおもひ未来を語りぬ

秋晴れのあみだが池の和光寺に愛する人の碑にぬかづきぬ

厳かに若き尼君碑の前に経あげたまひ献茶したまひぬ

人身うけがたく今すでにうく 経の心は胸にひびきぬ

生理学者 内山孝一謹んで記す

参考文献：生理学の伝統と創造について、内山孝一(1967) 日本生理誌 29, 99 (このほかに多くの論文の中に琴坂の研究について記しておいたがここでは省略しておく、内山再記)。

日本生理学会特別会員，東京医科大学名誉教授久保盛徳君昭和43年1月19日午前7時50分御逝去なさいました，謹んで哀悼の意を表します。御霊前に本会より生花を供え，同1月21日の御葬儀には会員を代表して庶務幹事松田幸次郎君が参別し弔辞を捧げました。

〔短報〕

〔会報〕

人体基礎生理学研究所設立準備委員 (各地区からの分のみ) 選挙の結果報告

日本生理学会からの委員中，各地区から1名選出の準備委員選挙は年末御多忙中にも拘らず全評議員の半数に近い投票を頂き御協力有難うございました。

開票は昭和43年1月13日，松田・冨田・名取・

高橋・内蘭各常任幹事，朝比奈委員，坪田・竹中・岩崎各専門委員立会の下で開票の結果，下記の方々が選ばれた。

北海道地区 藤森聞一
東北地区 田崎京二
関東地区 高木貞敬
東京地区 内蘭耕二
中部地区 高木健太郎
近畿地区 吉村寿人
中国・四国地区 福原 武
九州地区 間田直幹

(以上8名)

将来計画委員会議事録

日 時：昭和42年12月9日(土) 午前10～午後1時

場 所：東京大学医学部好仁会三階

出席者：朝比奈・内蘭・望月・高木(健)・松田・真島・高橋・竹中・間田・吉村・時実・井上各委員，磯本・亘・山田・坪田・維方・金子・竹宮・岩崎・加濃各専門委員，野口(学会)

議事

1. 内蘭委員長代行より，人体生理学研究所案が学術会議より総理大臣へ勧告がなされた事およびそれに至る迄の経過の報告があった。

2. 朝比奈委員より学術会議における審理の様子が報告され，また学術会議内の将来計画についての見通しがのべられた。

3. この将来計画委員会における「研究所設立に関する業務」が一応終了した事が確認され，将来できるであろう設立準備委員会迄つなぎの業務をし，その後は設立準備委員会を支援することとなる事が確認された。

4. 設立準備委員会は学術会議長期計画委員会

に属するものであるが，生理学者を主体とするものであるから，その選出については学会が原案を提出することとなる。その委員の人員構成について議し，次のように決めこれを，常任委員会に提出し承認をうる事となった(追記当日午後行なわれた生理学会常任委員会はこれを承認した)。

地区委員	8
生理学会中央委員	8～10
生理科学研連	3
生物研究所関係	2
生物物理研関係	1
学術会議	5
学識経験者	2
計	29～31

地区委員は各地区(北海道，東北，関東，東京，中部，近畿，中国・四国，九州)より各1名選出される(人員構成は学術会議長期計画委員会において修正をうけ，多少の変更をうけるであろう)。

5. 専門委員は直ちに地区委員の選出案を作成し，これを常任委員会に提出した。

6. この案にもとづき，12月中に選挙が行なわれることとなった。

7. これまでの将来計画委員会は生理学会に所属していたが、今後の準備委員会は学会議に所属する事となる。その運営・作業に関する費用は

出されないで、生理学会でまかなわねばならない。これに対して何らかの方法で費用を捻出せねばならぬ事が議せられた。以上

[学会予告]

IV International Congress for Pharmacology, July 14 to 18 1969, in Basel Switzerland

Features of the Basel Meeting

Among the special features planned for the 1969 congress are—besides symposia—scientific demonstrations and trigger meetings.

Trigger meetings have been so named because they are intended to trigger off original research ideas and new trends in pharmacology. They shall have as their goal the encouragement and promotion of those investigators who have refrained from following safe general trends and have dared to travel along untried pathways of their own. Trigger meetings however presuppose not only originality of thought but a certain amount of scientific evidence as well. The investigators chosen will be expected to point out their main goals and hopes and to present their results to date. They then will be asked to discuss their findings with meeting monitors and to answer

questions posed by the audience.

The organizing committee plans to have selected scientific demonstrations of a new type. They will not be scientific exhibits of past published work. Nor merely films or demonstrations of pharmacological experiments. Rather the new type demonstrations will be provocative presentations of scientific data employing other and preferably new means of demonstrating scientific problems and to orient visitors on particular possibilities. The aim will be to provoke new thinking to develop new ideas. The emphasis will be more on ideas and less on technical perfection.

The symposia planned for the congress promise to define the newest state of pharmacological knowledge on special and topical themes by specialists in the particular field concerned. The speakers will be expected to sketch out the latest de facto position for their audiences. Here also preference will be given to topics which, despite undisputed actuality, will not have figured too often in the programs of congresses previous to ours.

[編集後記]

今年は国際生理学会がアメリカで開催される。相当な数の日本の学者も参加することであろう。全く日本の生理学も国際的になったものである。戦前には甚だ少数の学者が欧米、主として英独に留学、国際学会への参加も極めて少かったが、戦後は多くの学徒が主として米国へ留学出来る様になり、三年前には日本で国際学会が開かれるなど、まことに今昔の感に堪えない。

生理学の雑誌でも橋田先生が発行された欧文生理学雑誌 J. of Biophysics それに続く文部省の欧文医学集報 III Biophysics など不定期にしか出

版されなかったのに較べ、今や J. J. P. は原稿が殺到してやがては月刊ともなろうと云う勢である。日理誌の速報欄に欧文も採る様にしたならば、これも原稿が殺到しやがては速報とは行かぬ様になるかと悲鳴を挙げ始めて居る。

それに引き替え邦文の日生誌の原著はこの所減少の傾向にある。勿論戦後の博士ブームに際しての原稿増加は一時的の異常現象であったにもせよ、またそれぞれに各大学紀要の如きが存在するにしても、日本人の生理学の業績はやはり日本の生理学者に見て貰う様にした方が良いのだから、出来る限りは本誌を利用して頂き度いと思う。

(戸塚武彦)

比色計の価格で 分光計の性能！

340～800 $m\mu$

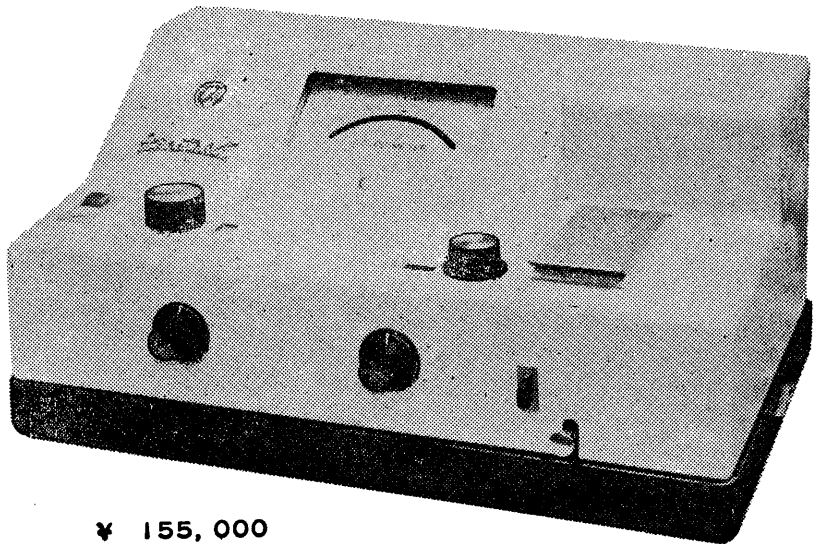
合金鑄造の匡体中に密封されたモノクロメーターはリトロー式マウンティングで重フリントプリズム使用により340～800 $m\mu$ の範囲で常に高い分解能を示します。すなわち可視域中心部で波長巾5 $m\mu$ のスペクトル純度が得られます。他器と比較してください。

電源には本器のために開発した光電式定電圧回路を採用、±10Vの変動に対し0.3%におさえ、周波数変動の心配もありません。

検出管には光電子増倍管を使用しています。

吸収液槽は10mm角硝子、同時に4本セット。

分光光電比色計スペクトロ-5



¥ 155,000

伊藤超短波株式会社

東京都文京区白山1丁目23番15号

電話 03 (812) 1216 (代表)

営業所 大阪市住吉区菟田町11の7 電話 06 (691) 1163
営業所 名古屋市中区大池町5の2 電話 052 (251) 3049

J. Physiol. Soc. Japan Vol. 30, No. 2 (1968)

Review

Shigeo Takenaka : Structures of quantum mechanics77

Originals

Mitsutsugu Ono・Makoto Yamato・Yoshiyuki Otani・Syuzo Tsubota・Hiroshi Kurata・
 Suketsune Iwagaki and Yasumitsu Takahashi : Study on the silent
 period in the dynamic contraction86

Keizo Shiraki : The effect of splenectomy on sports anemia.....96

Takemasa Shiraiishi and Toshiaki Hara : The physiological significance of γ -aminobutyric
 acid (GABA) in the brain function. I. The pharmacological similarity
 of α -chloro- γ -aminobutyric acid (α -Cl-GABA) to γ -aminobutyric acid
 (GABA)109

Takemasa Shiraiishi and Tetsuo Ohhori : The physiological significance of γ -aminobutyric
 acid (GABA) in the brain function. II. Distribution of α -chloro- γ -
 aminobutyric acid (α -Cl-GABA)- $1-C^{14}$ in the rat.....114

Short communications

Masahiro Ozeki and Masayasu Sato : Potentiation of postsynaptic depolarization by
 5'-ribonucleotides in the crayfish muscle..... 120

Kohsi Takano and Masaakira Kano : Reflex activity of the muscle in tetanus intoxication... 122

Sadao Hoshino・Teiichiro Tonoue and Kiyoshi Yamamoto : Differential effects of
 dexamethason on L-alanine and L-leucine incorporation into rat
 pituitary proteins124

編集兼
 発行人

東京都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

印刷者
 印刷所

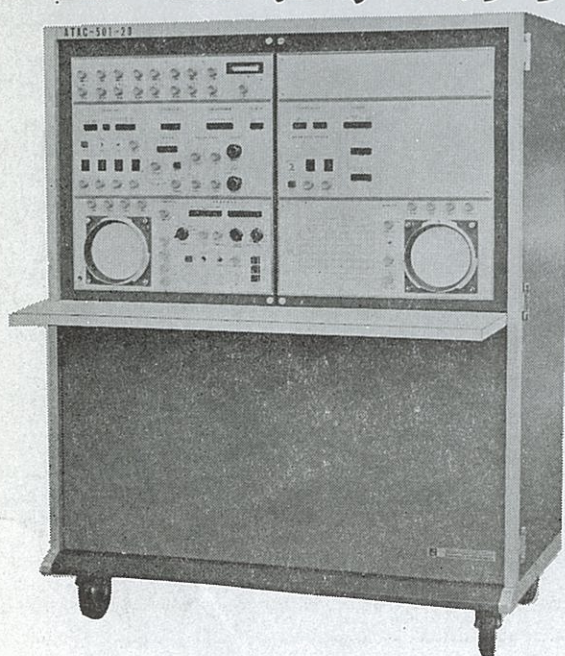
山形県鶴岡市山王町一四二四
 平田貢
 鶴岡印刷株式会社

発行所

東京都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
 価 式 百三〇
 円

光電医学のあらゆる分野に活躍する



データ処理用電子計算機 ATAC-501-20型

主なプログラム

- 加算平均
- 自己・相互相関
- 時間ヒストグラム
- 移送平均
- 振幅ヒストグラム
- データ移送
- メモスコープ
- 微積分
- プログラムプッシュボタン切換式
- On-line方式
- 出力アナログデジタル両方式



日本光電工業株式会社
 東京都新宿区西落合1-31-4 (953) 1181大代