

# 生体の電気現象に関する研究

湯ノ口万友・古川 徹也・大園 義久

(受理 昭和54年5月31日)

## STUDIES ON ELECTRIC PHENOMENA IN A HUMAN BODY

Kazutomo YUNOKUCHI, Tetsuya FURUKAWA and Yoshihisa ŌZONO

In a human body of advanced animals, a very expert homeostasis is maintained. The systems of this adaptable effect are made up of the neural control system and the body fluid's control system. So this paper studied the variation of the stationary potential and the stationary current on a body surface.

As a result, it is pointed out that 3 patterns of electric phenomena seem to have an antagonism effect.

3章では実験結果とそれについての考察を行なった。  
又、4章では今後の問題点を提起し結びとした。

### 1. 緒 言

生体内では常に恒常性 (homeostasis) が維持されており、高等動物になる程その恒常性維持機構は極めて巧妙で複雑になる。生体はこの恒常性維持機構により内外の環境の変化に適応し、生命を維持している<sup>1)</sup>。生体内外のならぬ変化により恒常性が失われると種々の疾患として体表面で検出される。これらの疾患を測定し判断するために、脳波 (EEG) や心電図 (E-CG) や筋電図 (EMG) や脳の定常電位および体表面心臓電位分布図<sup>2)</sup> などが盛んに利用されている。

生体表面に電位差が存在することは既に知られており<sup>3)</sup>、生体内にならぬ起電力の存在することを意味している。本稿では良導絡理論<sup>4)</sup> に基づいて生体の良導点 (電流の特に流れやすい点) の存在を確かめ、特にその中の調整点および代表測定点が外部刺激に対しどのような反応を示すかを検討した。その方法として良導点の定常電位 (筋電図は交流成分であるのに対し、生体表面の直流電位を言う) と定常電流を測定し、かつ調整点に外部より適刺激を印加した後の代表測定点の定常電位と定常電流の変化を測定した。生体の恒常性維持機構の解明の一助となる適刺激に対する定常電流、定常電位の変化のパターンが認められたのでそれを紹介する。

以下2章では生体の電気現象および実験方法を述べ

### 2. 生体の電気現象と実験方法

#### 2.1 生体用電極

生体の電気現象を測定するために、生体に直接装着する電極を生体用電極 (bioelectrode) あるいは単に電極という。生体の電気現象は非常に微小なため、その誘導には表1に示すように目的に応じ各種の電極が使用されている<sup>5)6)</sup>。本研究では生体表面の定常電位と定常電流の測定を行なうので最も代表的な不分極性電極の銀-塩化銀電極 (0.6cm<sup>2</sup>~0.8cm<sup>2</sup>) を用いた。しかし、この電極は銀の表面に塩化銀をコーティングしているため使用頻度が多くなると剥げてくる。それで実験に使用する電極は途中でしばしば生理食塩水中に入れ直流特性を測定しながら特性の劣化したものは随時取替えるようにした。これらの電極は図1に示すように初期ドリフトも極めて短かく、静止電位も小さいことがわかる。参考のために最初使用していた銀皿電極の初期ドリフトを同図に示したが明らかに銀-塩化銀電極の方がすぐれていることがわかる。更に雑音<sup>7)</sup> という問題に対しては使用した電極の極板面積が比較的大きく不分極性電極であるため、さほど問題ではない。

表 1 Bioelectrode の分類<sup>6)</sup>

項目	電極の名称	代表的な例
用途	誘導電極 刺激用電極 物理量・化学量検出用電極	脳波・心電図・筋電図電極, 細胞活動電位用微小電極, 生体インピーダンス測定用電極 心臓ペースメーカー用電極など pH用ガラス電極, pO <sub>2</sub> 電極など
材料	金属電極 半導体電極 絶縁物電極	白金, 金, 銀, タングステン, ステンレス鋼電極など 半導体微小電極など アルミニウムまたはタンタル陽極酸化膜電極など
構造	体表および深部用電極 細胞活動電位用電極	銀皿電極, 銀-塩化銀表面電極, 筋電図用多芯針電極など 金属またはガラス微小電極
動作原理	受動形電極 能動形電極	普通の電極 IC化した電極

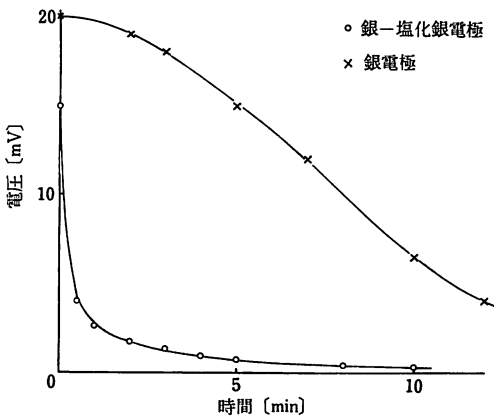


図1 電極の初期ドリフト

2.2 良導点<sup>9)</sup>とその探索法

直径約 1 cm 程度の湿性もしくは乾性の電極を用いて特に 21[V] 前後の電圧で全身を測定すると, 体表面に電流の流れやすい点が基盤の目のように発見される。この点を良導点という。また疾患や刺激等により皮膚の通電抵抗が激減し電流が流れやすくなった点を特に反応良導点と呼ぶ<sup>9)</sup>。この定義に従い良導点を探索し, 測定点および刺激点を決定した。その際行なった2つの探索法について説明する。

i) アルコールで皮膚をよく拭き, その上に3~5 mm 間隔で基盤の目状にペーストを置き図2の(a)のように探索棒で電流計の振れを観測しながら探索した。そして, 最大の振れを示す点を良導点とした。

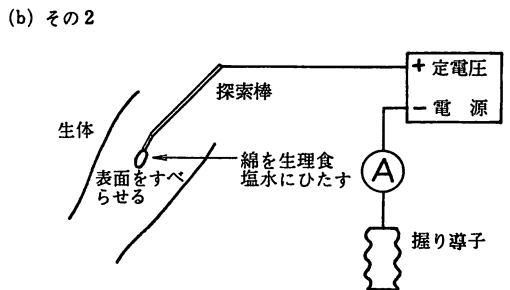
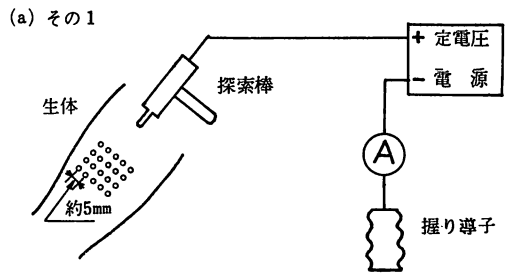


図2 良導点探索法

ii) アルコールで拭いた皮膚上を図2の(b)の方法で体表面をくまなくすべらせながら探索し, i)と同様, 電流計の振れで良導点を見つけた。

この2つの探索で, i)の方法はii)に比べ正確ではあるが測定に時間がかかりすぎるため, ほとんどii)の方法に依った。また, ii)の方法でも使用電極の面積がかなり広いのでi)の方法で得られる結果とほとんど相違ないことから, 問題はないと考えられる。

本研究では, 良導点を探索するために皮膚に数ボル

表 2 良導点(H<sub>1</sub>8, H<sub>2</sub>7)付近の電流値；単位(μA)

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	0.61	0.10	0.50	0.85	0.20	0.05	0.15	0.35
B	0.51	0.20	0.45	0.55	1.50	0.35	0.17	0.70
C	0.20	0.10	0.35	0.80	0.30	0.20	0.25	0.45
D	0.35	0.20	0.30	0.28	0.35	0.85	0.50	0.40
E	0.25	0.40	0.30	0.80	0.30	0.20	1.20	0.50
F	0.10	0.30	0.35	0.80	0.25	0.35	0.20	0.60

ト(1~3V)の直流電圧を印加した。表2にはi)の方法で得た結果の一例を示した。これからわかるように(B, 5), (E, 7)の二点の電流値がその周囲の点のそれよりも著しく大きくなっている。同様にii)の方法によっても、全く同じ位置で電流値が最大となることが確かめられたので、この点を良導点と定めて以後の実験を行なった。また、表2の表示法に使

った記号と番号は便宜的なもので他に意味はない。以後使用する表現法を用いるならば、(B, 5)はH<sub>1</sub>8であり、(E, 7)はH<sub>2</sub>7に対応している。なお、良導点を一定の型に結んだもの、あるいは反応良導点を一定の型で結んだものを良導絡と呼ぶ。

2.3 代表測定点と調整点<sup>9)</sup>

各良導点の電流量は刺激を加える部位やその刺激の強さ等によって顕著に変動する。特定の良導絡上のすべての良導点の平均の変化と同じような変化を示す点代表測定点とされ、それは手首、足首に存在し測定を行なうのに便利である。よって、これらの点を実験測定点として用いた。また、生体を刺激すれば興奮的に働く点と抑制的に働く点とが各所に存在する。その中で、良導絡上の刺激を行ないやすく、苦痛をとまわずかつ場所もしっかり求めやすい良導点を調整点と呼ぶ。この点は経験的な理由から決めているのであ

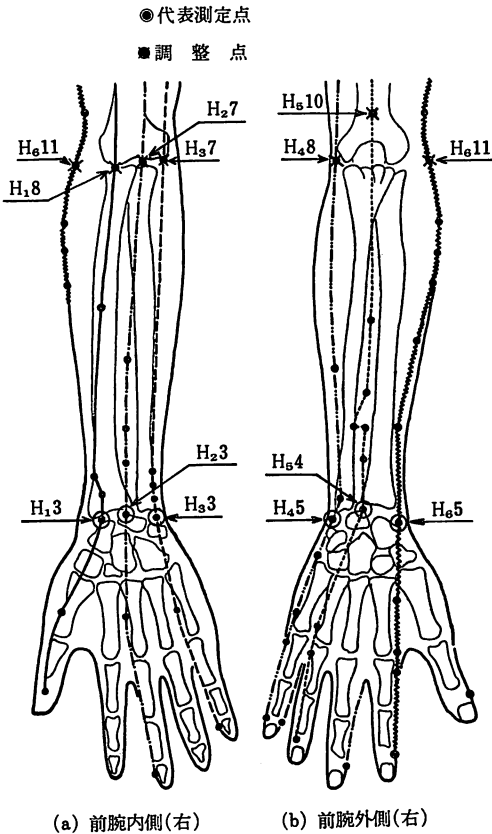


図3 調整点、代表測定点および経絡図(I)

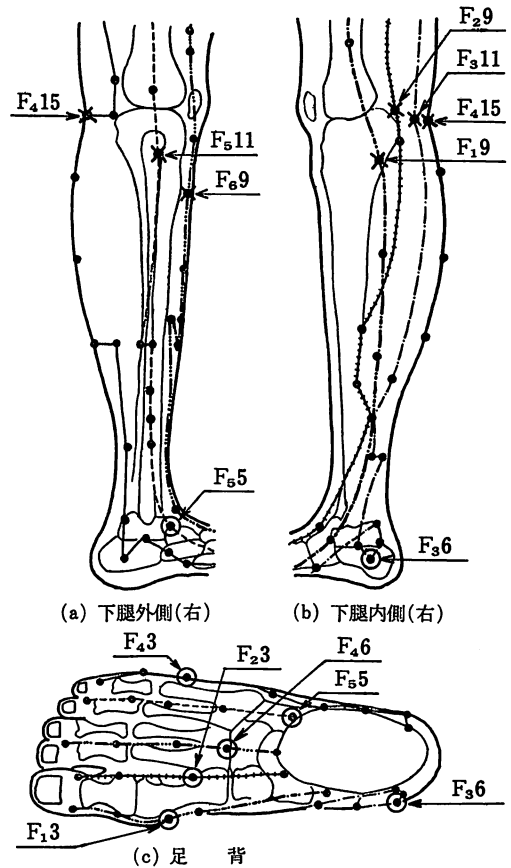


図4 調整点、代表測定点および経絡図(II)

て、医学的に確かめられているわけではないが、実験を行ないやすいという理由と先の理由から刺激点として用いた。実験に際しては、それぞれの点を中谷氏の使用した統一的な記号に従い、図3および図4に示す位置を選んだ<sup>9)</sup>。

2. 4 生体の定常電位

体表面に銀-塩化銀電極を装着して定常電位を測定した。測定に際しては電位の最も低いと思われる指先を基準点とし、筋電位や皮膚電気反射等の影響を防ぐためにできるだけ被測定者の安静を保つように努めた。

生体の定常電位発生機の機序はいろいろな説<sup>9)</sup>があるが、細胞膜のイオンの選択的透過性によるとする考え方が最も有力とされている。また、電位分布はイオンの偏在によると考えられる。このことは皮膚に火傷や切り傷等の疾患が生ずると電位分布に変化が生じることからも確かめられる。即ち、定常電位は疾患の部位が異常に上昇し、同時にその部位の電流も良導点には関係なく流れやすくなる。イオン分布と電位分布には密接な関係があると考えられるが、この点は今後じゅうぶんに検討される必要がある。

2. 5 生体の刺激に対する応答

生体の恒常性維持機構を考察するために、本研究では電気刺激を調整点に加え、指先の基準点と代表測定点間の電位差、電流の変化を測定する方法をとった。しかし、刺激の強さの感じ方はかなりの個人差があるため実験する毎に刺激電圧を変化させなければならない。それでこの実験においては生体に流れる電流波形(P-P)を常に一定の振幅におさえるように刺激電圧を調整しながら印加した。また、実験に用いた刺激パルスのパルス幅を 1 [ms] とし、周期を 50 [ms] とした。これを適刺激と定義し、刺激時間は各調整点につき 2 分間とした。電流の向きは調整点より基準点に流れ込む向きを正方向とし、その反対を逆方向と定めた。電流測定の際、外部印加電圧を 50mV としたのは電流の正逆の差をはっきりさせるためである。即ち、生体の定常電位が大体数 mV から数十 mV であるため、定常電位が大きければ電流の正逆の差が大きく、逆に小さい場合には電流の正逆の差が小さく現われる。

次に本稿で表現する体表面の内側と外側の語句の定義をしておく。つまり手と足についていうならば、図

3 と図4のような定義になり、体幹については胸部および腹部の方を内側とし、背中の方を外側と定義して以後の説明を行なう。

3. 結果および考察

3. 1 定常電位と良導点

生体の定常電位は図5に示すように、関節部が高くなっていることが認められた。即ち手では肘の部分が足では膝の部分がそれぞれ高い。しかし、体表面の電位が低い部分でも定常電流は大きい。電流の流れやすい点を 2. 2 で説明したように良導点というが、この

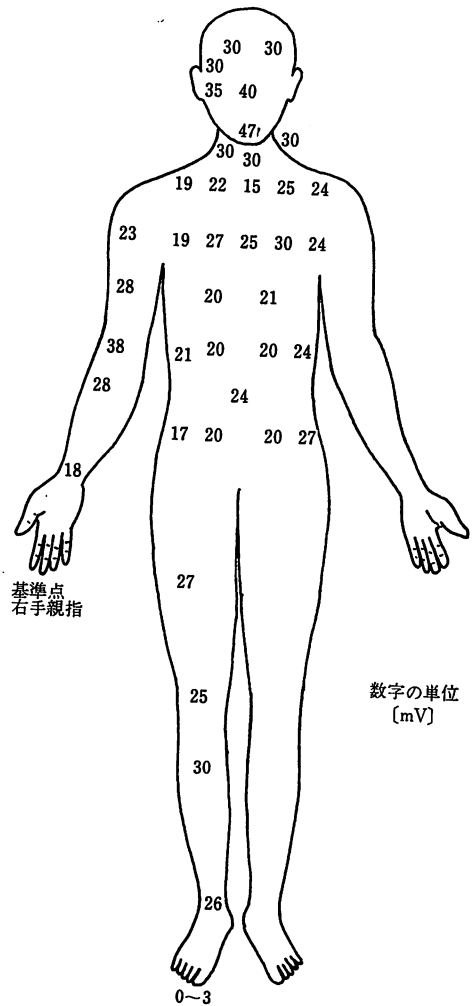


図5 生体の定常電位分布例

点でも電位は低い傾向を示している。これらの良導点は生理学的には、神経の集中している部分もしくは血管の集中している部分と考えられるが定常電位との関係がじゅうぶんに検討されていない。

3. 2 刺激による定常電位、定常電流の変化

刺激に対する定常電位および定常電流の変化にはかなりの個人差が見られる。しかし、共通して言えることは一点の刺激で全身にその効果を及ぼすことができるということである。又、生体の恒常性が働いているために、刺激によって電流量はある程度増加するが、ある値になるとその付近で恒常性を保つことがわかる。図6から図9までに測定結果の代表的な電位差および電流量の変化を示した。これからわかるように電流についてみると変化には3つのパターンがある。ひとつには刺激に対し敏感に反応を示すタイプこれをA型とする。次に刺激に対し変化しにくいタイプB型。最後に始めはB型の変化を示すが、途中からA型に移行していくタイプこれをAB型とする。このように大体3つに区分できるが、一概に断定することは難しい。というのは同一人物でも測定の時の健康状態等によりパターンが変化する。これは生体の恒常性維持機

能が働き体液の分布およびイオン分布の状態が変動し

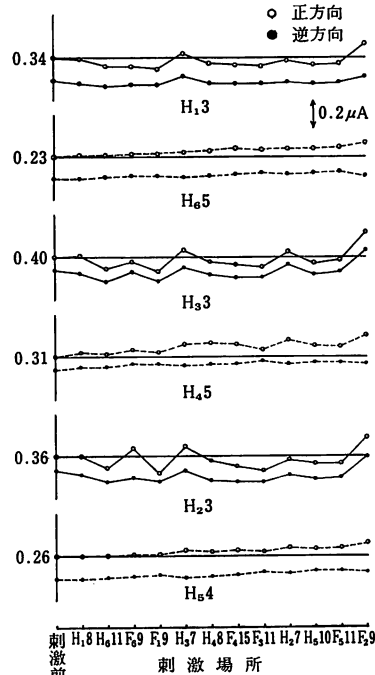


図7 刺激による電流の変化 (A)

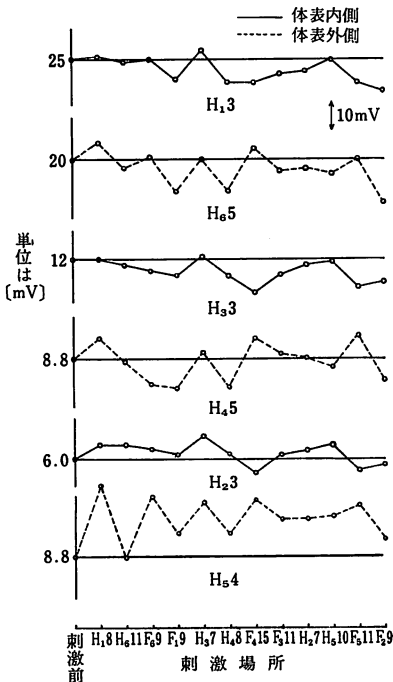


図6 刺激による電位差の変化

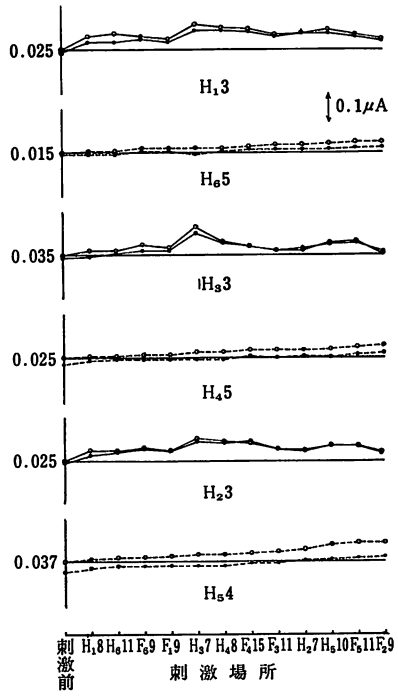


図8 刺激による電流の変化 (B)

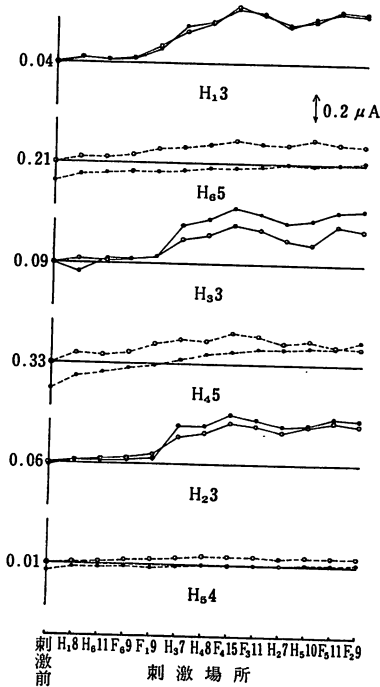


図9 刺激による電流の変化 (AB)

ているためだと考えられる。本稿ではそこまでのじゅうぶんな検討はなされていない。

さらに同図から、刺激によって体表の外側と内側とは変化のパターンが異なっていることが確かめられる。体表の内側が外側よりも電位の変化の割合が小さく、電流の変化の割合は大きい。このことから、外側よりも内側の方が刺激の影響を受けやすいと言える。すなわち、内側は刺激により接触抵抗(皮膚抵抗)が変化しやすいと考えられ、生理学的には興味深いことである。又、 $H_3$  という点はいずれの場合でも刺激に対し大きく変化している。興奮的に作用させたい場合には効果的な点であると考えられ、検討の余地がある。

#### 4. 結 言

本稿は生体電気現象の基礎実験の結果を報告した。以上のことを整理すると次のようになる。

- 1) 生体表面には、電流の特に流れやすい点(良導点)が存在する。その点の電位はかならずしも高いとは限らず、個人差があり測定条件によっても異なる。今後は系統だてた測定と条件および環境による数多くのデータが必要である。

2) 生体表面の定常電位および定常電流は、刺激によってある一定のパターンをもって変化する。実験は手を重点的に行なった。足の方はデータ数が少ないためはっきりしたことは言えないが、手ほど顕著にパターンを認めることはできなかった。ひとつには足の代表測定点の位置が手のそれにくらべ求めにくいということもある。今後は、手と同様に足の実験を重ねていくつもりである。

3) 興奮点と抑制点の存在はあまり顕著に現われなかった。というのも、被測定者はいずれも健康体でかつ被測定者の数が少なかったためであると考えられる。異常があると認められる生体についてのデータを取り、健康体との比較を行なうことによってはっきりした区別が得られるであろうと考えられる。

4) 刺激については主に電気刺激による。他に熱刺激についても実験を行なったが、熱刺激は電気刺激よりも反応が激しい。電気刺激でB型を示した人も、熱刺激ではA型もしくはAB型になってしまう。またA型であれば、熱刺激をすると電流値がすぐ飽和状態となり変化をさほど示さない。内側と外側のパターンを示さなくなることもある。このように熱刺激は電気刺激よりも刺激となりやすいが、じゅうぶんな検討がなされる必要がある。

以上のことを更に進めながら、今回検討された生体の電気現象を基礎に次は以下述べる問題点の追究をも試みるつもりである。

- 1) 末梢神経の静止電位と体表面定常電位との関係について
- 2) 体液として最も重要なカリウムイオンとカルシウムイオンの分布が生体の体表電位分布に及ぼす影響と心電図との関係について
- 3) 生体の興奮性活動と抑制性活動について

おわりに本研究は昭和53年度の卒業研究に取り上げられたものであって、測定やデータ整理にあたっては、渡辺琢美氏(鹿大工学部大学院在学)、富山泰雄氏(鹿大法文学部在学)等に負うところが極めて多く、ここに感謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) 問田直幹・内齒耕二: 新生理学上下, 医学書院。
- 2) Taccardi, B., Distribution of heart potentials on the thoracic surface of normal human

- subjects, *Circulation Research*. 12, 341 (1963).
- 3) 小原甲子・高橋慶吾：衛生検査, Vol. 26, No. 1, 38-44, 1976.
  - 4) 杉山茂：日大医誌, Vol. 28, 527-544, 1969.
  - 5) Kenneth, R. Brenner: *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. BME-23, No. 4, p. 337 (1976).
  - 6) 白田小夜子：日本生理誌, 33, 778-786, 1971.
  - 7) 松尾正之：DENKI KAGAKU, 43, No. 9, 484-490 (1975).
  - 8) 朴沢進：人体皮膚の電気分極現象, 生体の電気現象 (Ⅱ) 生理学講座, 第2巻1-30, 生理学刊行会, 1952.
  - 9) 中谷義雄：良導絡自律神経調整療法, 良導絡研究所.
  - 10) L. A. Geddes: *Electrodes and Measurement of Bioelectric Events*, Wiley-Interscience (1972).
  - 11) 松尾正之・田頭巧：生体用金属電極の電気的特性 (生理食塩水中の直流特性), 医用電子と生体工学, 8, 151/159, 1970.
  - 12) 木下晴都：臨床経穴図, 医道の日本社.
-