GALVANIC TEST

—Acceleration Registrogram of Head Movement Induced by Galvanic Stimulation, and Galvanogram (Sekitani)—

By
TORU SEKITANI

*Department of Otolaryngology, Yamaguchi University,
School of Medicine (Director: Prof. Shoichi HONJO)*

The purpose of this investigation is to establish a galvanic test as qualitative and quantitative estimation method for the human equilibrium and to analyse mechanism of 'maintenance of equilibrium'. First, the intensity of galvanic stimulation is settled to be weak enough not to irritate the skin where the (bipolar and bi-retroauricular) electrodes are placed but to be strong enough to make a sway and falling reaction when the subject stands in Mann's position. A 10 second stimulation of 0.25 mA does not usually cause the swaying or falling reaction in normal subjects; 0.5mA stimulation makes the half of them fall; 1.0mA stimulation induces to fall quickly in most of all examinees. Secondly, recording of the swaying or falling movements caused by galvanic stimulation are performed by means of acceleration registration technique (Accelerometer→Strain meter→Oscillograph).

The falling times are plotted and expressed on the graphic scale which is similar to the "Calorigram", as author names it as "Galvanogram".

Otherwise, analyses of the curves of GAR are made as follows; 1) direction of swaying or falling movements of the body; 2) pattern of swaying, such as i) "initial wave", ii) upward or downward deflection, and iii) falling pattern.

Twenty healthy adults are examined and the

following results are obtained;

1) Short and small "initial wave to the cathode" is first observed on GAR immediately after galvanic stimulation (0.5mA~1.0mA, 3~5V), which usually appears at least within one second after stimulation is given.

2) Following immediately after the 'initial wave', swaying movements to the anode appear. Swaying and/or falling movements to the anode are almost always induced by 1.0mA stimulation. Meanwhile, neither the stimulation of 0.25mA induces any remarkable sway of the body nor "initial wave" on GAR.

3) No significant difference of falling time or GAR pattern between the stimulation given to the left and to the right is observed statistically in every different intensities of stimulation.

4) Average of falling time are 8.3 seconds in 0.25mA stimulation; 4.4 seconds in 0.5mA; and 1.9 sec in 1.0mA stimulation.

5) Accelerations of the head movements through the course of examination are 0.018g in the Mann's position when they close their eyes; 0.03g in the 0.25mA stimulation; 0.056g in 0.5mA; and 0.1 to 0.12g at 1.0mA.

6) No side effect or discomfortable reaction is observed.

Galvanic test の 研究

——加速度記録図法による電気性頭部動揺の
観察と Galvanogram の表現——

山口大学医学部耳鼻咽喉科学教室（指導：本庶正一教授）

関 谷 透
せき たに とおる

目 次

緒 言

方法と対象

Ⅰ 対 象

Ⅱ 装 置

1) 電気刺激系

i) 直流電気刺激装置

ii) 電極と通電部位

iii) 通電と極性変換

2) 加速度計と装着ヘルメット

3) 歪測定器系

4) 記録器系

Ⅲ 姿 勢

Ⅳ 検査条件の組合せと実施方法

付 1) 加速度記録図 (ARG)

2) 電気刺激時加速度記録図 (GAR)

GAR の例示

成 績

Ⅰ GAR の通電値増加による所見

Ⅱ 転倒時間

1) 転倒時間の平均値とその信頼限界

2) 平均値における差の有意性

i) 電流値による差

ii) 極性による差

iii) 姿勢（足位）による差

Ⅲ 初 発 波

Ⅳ GAR 上の偏位と“振れ”

Ⅴ 副作用について

Ⅵ いわゆる Galvanogram について

総 括

考 按

- ・文献の事項（主として Galvanic test の）
- ・前庭反応誘発電流値について
- ・電極ならびに刺激装置について

- ・加速度計ならびに加速度記録図に関して

- ・通電時頭部動揺の方向性について

結 論

結 語

主 要 文 献

緒 言

頭部に通電してメマイを生ずることは、1792年 Volta によつて報告されているが、さらに1803年 Ritter 並びに Augustin は種々の疾患に対して“電気治療”を施与し、その際、頭部に通電すると、メマイが誘発されることについて夫々独自に研究報告しているという²⁸⁾。1871年 Hitzig は頭部通電によつて眼球運動（眼振）が誘発されることを認め報告している。以後その生理学的実験あるいは病理組織学的研究が行われ、種々論議されてきた。

Fischer¹⁾によれば；Neumann (1907) が Galvanic test を前庭機能検査のための臨床検査法として始めて用い、症例報告をして以来、Bárány (1907), Mackenzie (1917), Ruttin (1926), Brünings (1911) 等が回転検査法、温度検査法と共に盛んに応用したという。

以後 galvanic reactions に関する基礎的、臨床の実験、観察研究が本邦内外にてもかなり多数報告されていたが、最近この方面での研究報告は意外に少い。

比較的系統的に研究報告されているものについて述べると、Dix, Hallpike & Spencer Harrison¹²⁾ (1949) のストレプトマイシン (SM) 中毒症例群に対する検査方法とその成績について、さらに Dix & Hallpike¹⁴⁾ (1952) の Mènière 氏病群と Vestibular neuronitis 症例群とについての報告がある。1949年には Ingelstedt & Walander¹³⁾ がストレプトマイシン中毒例について行つた Galvanic test の成績を報告。本邦では福田他²⁵⁾ (1962) が、第63回日本耳鼻咽喉科学会総会で“Galvanic test の一規準”と題して報告している。即ち Galvanic test の規準化を提唱し、一定電流値で刺

載した際の眼振数を算え、種々比較検討を加えている。そして正常、末梢迷路性、後迷路性の3つが鑑別できるのではないかと推論している。朴沢²⁴⁾(1961)は単極単耳法で刺激電流を漸次上昇させて眼振発生最少閾値を求め、Calorigram 類似の graph (Galvanogram) として解析し、病的 Galvanogram には2型、即ち1つは「感受性低下型」であり、他は「方向優位性 (DP)」を示すもの」であると説き、さらに電気性眼振の本態に関して臨床的考察を加えている。

増田²⁵⁾(1960)は Galvanic response を i) Mann 氏姿勢での転倒反応として、ii) 遮眼書字検査での偏書、iii) 歩行検査での偏歩として観察研究している。さらに Peitersen & Zilstorff-Pedersen²⁶⁾(1963)は歩行検査で通電後の偏歩について研究報告しているものが見られる。

一方、1952年 Jongkees と Groen²⁾が感応コイルを応用した一種の加速度計を頭部につけ、歩行時の頭部動揺の様態を記録し、これを加速度記録図として研究開発し、さらにこれを正常人ならびに患者について観察して、著しい差のあることを確かめ、さらに加速度成分の記録分析より、人の歩行運動時の迷路刺激の様式をうかがい、探索をはじめた。

わが国では北原²¹⁾(1959)等がさらに感度のよい抵抗線ヒズミ計器の一つとして実用化されてきた小型の非接着抵抗線型直線加速度計をこの目的に応用し、種々の静的、動的姿勢の頭部動揺を記録、検討し報告したのを矯矢として前庭機能研究の領域にさらに取入れられる傾向にある。

われわれも“より良き記録手段”としてこれに注目していたが、好都合なる小型計器の開発を見、早速身体頭部動揺などの記録に応用しているものである。

電気刺激で誘発される前庭脊髄反射の発現は前庭眼反射 (いわゆる galvanic nystagmus) の発現に先行し、且つはるかに弱い刺激で得られること^{1) 6) 16) 28)}より、著者は身体 (頭部) 動揺を誘発し、それを加速度記録図として他覚的客観的に記録し、その pattern を動揺開始時間、転倒時間とともに波形の分析、加速度量の測定に供し、さらにそれらの pattern の大略を一つの graphic scale (Galvanogram と呼称) に描記することで、前庭機能の様態を質的量的に表現観察を試み、Galvanic test の一変法を考案研究してきた。

本篇では、その方法と健康成人について行つた成績を述べ、考察を加える。

方法と対象

I 対象

本邦健康成人20名 (年齢18~30才、内1名50才)を選んだ。これらのものは既往歴に耳疾患、メマイがなく、耳鏡検査で異常を認めず、四肢運動機能の正常な、かつ身体平衡失調を認めないものである。

II 装置

ブロック・ダイアグラム No. 1 (第1図)の右半図に示す通り、1) 直流電気刺激装置、2) 加速度計と装着ヘルメット、3) 歪測定器、ならびに4) 記録器よりなる。その各部の性能および使用法を概説する。

1) 電気刺激系

i) 直流電気刺激装置

教室の野中の考案した装置を使用した。その実物なら

第1図 Block Diagram No. 1

Mann's posture (Left foot-Right, Right foot-Left)
Eyes closed

Block Diagram No. 2

第2図 直流電気刺激装置とその配線図

びに配線図は第2図に示す。この一部に、刺激用SWを記録器のmarker用ペンと直列に入れるようにした。配線図に示されるように Transister Battery (006P) 9volt 5コを直列に内蔵する。毎時、使用に先立ち電池電圧を検定して刺激の一定を図る。なお、使用後は Battery charger (Type TR-1 “FULMITER” Use for BL-006P9V (NIHON SEKISO Dry Battery Ind. Co. Ltd)) によって充電して使用する。

ii) 電極と通電部位

電極は中凹み銀板電極 (Concave silver disc), 直径10mm, を2コ用い、双極両耳後 (第3図) で置く。接触抵抗を下げ、通電性をよくするために以下の手順を行う。Silver disc を sand paper を使つて磨き、アルコールで清拭する。心電図用電極糊 (福田エレクトロ製) を銀板の凹面につける。一方、両耳後部はアルコール・ガーゼで良く清拭し、できるだけ乾かすようにする。ここに電極を絆そう膏で固定する。なお、この際テスターを用いて接続各部の通電の良否を検討すると同時に抵抗値を読みとり記録する。抵抗は10~20KΩ以下であることが望ましい。40KΩ以上の時には、0.1~0.2mAを数10秒間通電すると抵抗値は下つてほぼ一定となり、好条件が得られることが多い。

第3図 電極の部位 (双極両耳後法)

iii) 通電操作と極性変換

上述のようにセットしたのち、続いて以下の如く操作して後、通電検査に入る。

(1) 刺激装置 OP に電導子をつける (勿論、電極は両耳後部に既に貼付してある)。

(2) SW と+側、一侧をたしかめる。

(3) Key をおし、Ampere-meter と Volt-meter の針のフレを読み、rough と fine の dial を廻して所定の刺激電流値が出るように加減する。決つたら Key をはずして、その時得られる mA 値、Volt 値をそれぞれ記録する。

(4) 次いで被検者に目的の姿勢をとらせ、検査に入る。

(5) 刺激 SW ボタンを押す 刺激電流が入れば同時に記録紙上にマークされる。

通電は10秒間行う。もし10秒以内に被検者が転倒すれば、直ちに電流を切る。その後は1~2分以上の休止の後、

(6) 同じ電流値で極性を 変えて行う (極性変換 SW によつて容易に変え得る)。以上で同じ電流値にて左右それぞれ通電検査をしたことになる。

次いで (3) の方法に従つて電流値を増減して所定の刺激値を得る。そして (4) (5) (6) の順に検査を進める。

2) 加速度計と装着ヘルメット

非接着抵抗線型加速度計 (120A-ID 型) (共和無線製) (第4図左前面) を用いた。これの標準定格値は表の通りである (第1表)。

計器 (加速度計) が頭部に良く固定された状態を得るためにヘルメット (プラスチック加工で軽量なもの) の頂上で矢状面に切込みをつくり、その中に加速度計を陥入固定した (第5図)。検査の時このヘルメットをかぶ

第1表 加速度計の定格値

型	容 量 ($\pm g$)	公称ブリ ッジ抵抗 (Ω)	固有振 動 数 (c/s)	最大入 力電圧 (v)	最大出 力電圧 (mV/g)
120A-1D	1	120	22	5	10

第4図 非接着抵抗線型加速度計 (Accelerometer, unbonded type) (ノ) 歪測定器とその電源部

第5図 加速度計を装着したヘルメット
右前面に銀板電極を見る (ノ)

第2表 歪測定器の標準感度

1. ブリ ッ ジ 電 圧	3V
2. 位相弁別用基準電圧	6V
3. ゲ ー ジ 抵 抗	120 Ω
4. 歪	60 $\times 10^{-6}$
5. 増巾器感度調整器	60 $\times 10^{-6}$
6. 出 力 負 荷	7 Ω
7. 出 力 電 流	3mA
8. 電 源 電 圧	100V
	(50~60c/s)

り、頸紐で緊縛することで容易に頭部に固定し得る。これで頭部動揺の左右方向への加速度成分の記録が行える。

3) 歪測定器系

第4図のように DM-2HS strainmeter (Type 3CO-50H Carrier oscillator) (共和無線製) と付属の power supply を用いる。標準感度は第2表に記載してある。

4) 記録器系

上記 strainmeter より WA-3H Amplifier (共和電業製) を通してペン書きオシログラフ (WR 211-3C) (渡辺測器製) で記録する。

記録条件として：頭部が右傾した時、波形は上向き、左傾では下向きになるように規定。600 $\times 10^{-6}$ strain が記録紙上 15mm 長の振れとなるように調整した。振れの 15mm は加速度 0.25g に相当する。紙送り速度は 10mm/sec とする。

以上加速度計→歪測定器系→記録器の系列は要するにブロックダイアグラム No. 2 (第1図, 下) で見る通り；ブリッジ (加速度計より) の出力は、始め DM 型歪測定器の CA-50H 増巾器で増巾され、次いで WA-3H 増巾器の電力増巾部で増巾される。電力増巾部の出力は外部に取出され、ペン書きオシログラフに接続され、そこでオシログラフのガルバノメーターを動かし、記録される。

Ⅲ 姿 勢

第1図のブロックダイアグラム No. 1 に示すように Mann 氏姿勢、閉眼で行った。足は一直線上に前後に、すなわち左足が前に右足先が左足の踵に触れるように並べて立つ (以下左足前と呼ぶ) 姿勢をとらせる。前後の足を交代する (右足前)。なお転倒状態、時間をはつきりさせるために、高さ約 10cm の方形の踏石を利用し、その上にて目的の姿勢をとらせる。

Ⅳ 検査条件の組合せと実施方法

Fischer¹⁾, 増田²³⁾ の実験成績および著者の行った予備実験の成績より、刺戟電流値を 0.25mA, 0.5mA, 1.0mA の3種とした。この規定した3種の刺戟量に対する反応の様子を検討し、前庭迷路機能を追求することにした。

第3表の如く、検査条件の組合せを作る。すなわち、通電検査の前に Mann 氏姿勢閉眼にしただけの状態の時のものを一種とり、Control とし検査進行上の見通しに役立たせる。そして3種の刺戟電流値と電極々性とより組合せを6種類作る。すなわち計7枚の記録をとる。

第3表 検査条件の組合せ

姿	勢	電極極性	電 流 値
1. 左足前・閉眼 (右足前)		ナ シ	ナ シ
2. 〃 〃		左-右+	0.25ma
3. 〃 〃		〃	0.5
4. 〃 〃		〃	1.0
5. 〃 〃		左+右-	0.25
6. 〃 〃		〃	0.5
7. 〃 〃		〃	1.0

さらに Mann 氏姿勢での前後足の交代によつて2倍、総計14枚の記録図が被検者一人について得られ、これが一組として観察に供される。

さて、検査手順全般を通して説明すると、2コの電極に電極糊をつけ、清拭した両耳後部に確実に貼布する。加速度計装着ヘルメットをかぶり、顎紐を緊縛して頭に

固定せしめる。刺激器、歪測定器、記録器系を点検した後、Mann 氏姿勢を命じ (閉眼)、記録紙を走らせはじめる。途中で閉眼せしめ、10秒間 (またはそれ以上) 記録し、Control とする。次いで電気刺激に入る。Mann 氏姿勢閉眼で0.25ma、左+右-の極性で10秒間通電する。次ぎに極性を変え (左-右+) て、0.25mA で10秒間通電する。このようにして0.5mA、1.0mA についてもそれぞれ行う。

観察は肉眼的所見も大切であるので直記式オシログラフの長所を活かして刻々の変化をできるだけ克明にオシロペーパーに記入していく。

付 1. 加速度記録図

北原²¹⁾に従つて加速度計による動揺の記録図を加速度記録図 (英訳して Acceleration registrogram (ARG)) と呼ぶ。以下論文中、単に加速度記録図又は ARG と記述されるものは、この場合電気刺激の負荷されない時の頭部動揺の記録図を指す。

第6図 GAR 例示

CHS No. 1 28 s

Mann's posture (Left foot-Right)

Mann's posture (Right foot-Left)

第7図 GAR の例示

CHS No. 5 218

Mann's posture (Left foot-Right)

NOTE

(Left foot-Right): Left foot in front of right foot and vice versa

↑ : Current on

↑ : Current off

↓ : Fall to left side, and current off

↓ : Fall to right side, and current off

付 2. 電気刺激時加速度記録図

双極両耳後法で電気刺激を加えて誘発される身体頭部動揺の加速度記録図を意味し、Galvanoacceleroregistogram (以下 GAR と略記) と呼称する。前記の ARG と区別する。GAR 上、身体頭部に認むべき動揺のない状態の時に描かれる線状波を基線とする。

健康成人では Mann 氏姿勢開眼時には殆んど基線の動揺はない。閉眼によつて、個人個人によつて若干基線の動揺が見られるが、一方に偏することは少い(第6図、第7図)。

GAR について主たる観察点は;

(1) 転倒の有無

(2) 転倒するまでの時間

(3) 転倒方向

(4) 頭部動揺の状態経過などである。

成 績

健康成人 20 名について Galvanic test (特に本法を GAR test と呼ぶ) を行い、下記の諸成績を得た。

I 通電値増加による GAR 所見

GAR 波形は通電によつて(第6図、第7図参照)、最初陰極側へひかれるように小さい1つの動揺を示し、直ちに陽極側へ頭部の傾斜が始まる。動揺しながら傾斜がつづく場合は数回の反傾斜側向き棘波を出す。このとき被検者は立位を保つか又は転倒する。電流を切ると反傾斜側(陰極側)へ反撥性に動揺し、時に転倒するものがある。

刺激の増大によつてこれらの傾向が顕著となる。

i) 0.25mA (1~4volt) 通電刺激時は軽度または中等度の頭部動揺をきたし、波形上、棘波をなすことがあるが、転倒することは少い。基線は陽極側へ偏位する傾向を示す。通常その動揺は5~7秒まで以後は動揺は少く、小さくなり、偏位も回復する傾向がある。

ii) 0.5mA (1.5~6volt) では中等度の動揺をきたし、棘波が大きく且つ多くなり、基線の偏位も大きい(陽極側へ)。初発波(後述)が出現する。動揺、傾斜とともに転倒するものがある。

iii) 1.0mA (2.0~10volt) では、動揺は激しく、急速に陽極側へ傾斜、転倒する。初発波が見られる。時に局所痛を訴えることがある。

II 転倒時間

転倒現象、転倒時間については肉眼的にも観察、測定することができるが、GAR によつて、はつきりと記録保存され、左あるいは右耳刺激時の転倒現象の経過ならびに時間について比較し得るものである。

転倒時間を一覧表とした(第4表)。分散分析その他統計学的処理を行うため転倒しなかった例には10なる数値を入れた。これらを姿勢、極性を考慮しつつ、電流値を縦軸に、時間を横軸としたグラフ上にプロットしてみると、0.25mA の場合、10秒以上、即ち転倒しないものが大部分(20例中14例、70%)を占める。一方、1.0mA 刺激では転倒時間は2秒前後に集中し、全例転倒していることがわかる。0.5mA 通電時ではばらつきがかなり強い(第8図1.2.)。

1) 転倒時間の平均値とその信頼限界

第5表に示す如く、総平均値でみると、Mann 氏姿勢

第4表 Falling Time of Clinically Healthy Subjects (20 adults)

CHS-No. Age		Left foot in front of right foot						Right foot in front of left foot					
		L- R+			L+ R-			L- R+			L+ R-		
		0.25	0.5	1.0ma	0.25	0.5	1.0ma	0.25	0.5	1.0ma	0.25	0.5	1.0ma
				sec			sec			sec			sec
1.	28	10	2.8	2.5	10	3.5	3	10	2.2	1.8	10	4	1.8
2.	24	10	4.6	2	10	6	2.2	10	5	1.8	10	4	1.8
3.	26	10	1.8	1.9	10	3.2	1.8	10	2.5	1.8	10	3	2
4.	26	10	10	1	8	3.5	1	10	3	1.2	5	2.5	1.5
5.	21	10	10	2	10	10	2	10	4	2	10	5	2
6.	28	5.6	4.6	2.5	6	2.6	2	7.5	3	2	4	4	2.5
7.	19	4.6	2	1.8	10	3	2	4	2.5	2	10	3	2.5
8.	25	10	2	2	8	2	1.8	5	2.8	1.8	5.4	1.6	1.6
9.	26	8	3	1.4	7.5	2	1.8	7	2.6	1.6	5	2	1.8
10.	24	10	10	1.2	10	4.2	1.8	10	10	2	10	3.2	3.0
11.	28	4	3	2.5	10	6	2.5	3	3	1.8	10	10	2
12.	21	10	3	2	8	4	2	10	4	2.5	10	6	4
13.	20	10	4.4	2	10	4	1.8	10	6	1.8	10	8	2
14.	23	10	10	1.7	10	3.2	1.8	10	10	2.4	10	4.4	2
15.	22	3	1.8	1.5	10	10	1.0	4	2	1.2	10	2.8	1.2
16.	22	10	2.2	1.6	10	2.2	1.7	10	2.6	1.7	10	10	2.8
17.	22	10	10	2	10	4	2	10	10	2	10	2.5	1.0
18.	50	10	4	2.5	3	2.4	1.7	10	2	1.6	4	3.6	3.1
19.	26	6	3.3	2	10	5	2	7	2.6	1.6	10	4.4	1.8
20.	28	10	10	2.3	3.2	2.2	1.8	2.6	2.4	1.8	4	3	1.8
Mean		8.6	5.2	1.9	8.7	3.3	1.8	8.0	4.1	1.8	8.0	4.4	2.0

註：分散分析など統計的处理を行うため転倒しなかつた例については仮に10なる数値を入れた。

第5表 Falling Time of GAR Test

—Mean value and their confidence limit—

a) Mean Value

Posture & Polarity	Left foot-Right		Right foot-Left	
	L-R+	L+R-	L-R+	L+R-
Intensity				
0.25ma	8.6sec	8.7sec	8.0sec	8.0sec
0.5	5.2	3.3	4.1	4.4
1.0	1.9	1.8	1.8	2.0

b) Their Confidence limit ($\alpha=0.05$)

Posture & Polarity	Left foot-Right		Right foot-Left	
	L-R+	L+R-	L-R+	L+R-
Intensity				
0.25ma	$7.5 \leq m \leq 9.7$	$7.7 \leq m \leq 9.7$	$6.7 \leq m \leq 9.3$	$6.4 \leq m \leq 9.6$
0.5	$3.6 \leq m \leq 6.8$	$1.6 \leq m \leq 5.0$	$2.8 \leq m \leq 5.4$	$3.3 \leq m \leq 5.5$
1.0	$1.7 \leq m \leq 2.1$	$1.7 \leq m \leq 1.9$	$1.7 \leq m \leq 1.9$	$1.5 \leq m \leq 2.5$

第8図 転倒時間について（健康成人 20 名）

1. Mann 氏姿勢（左足前）閉眼時：

2. Mann 氏姿勢（右足前）閉眼時：

閉眼で 0.25mA 負荷の時の転倒時間は 8.3 秒以上、0.5mA では 4 秒、1.0mA では 2 秒前後である。

2) 平均値における差の有意性

これら各条件下の平均値について各種条件毎に差の有意性を検定した。

i) 電流値の差による差：

第 6 表に示す通り、0.25mA, 0.5mA, 1.0mA の各々の間にはそれぞれ危険率 5% で有意の差を認める（ただし、0.5mA と 1.0mA とでは部分的に“やや有意”との所見を得ている）。

ii) 極性による差

第 7 表の通り、極性を左右に変えること、即ち左耳刺激と右耳刺激の場合との間には、有意の差を認めない。

iii) 姿勢（足位）による差

第 8 表の通りである。平均値の上では差があるように

思われたが、差の検定の結果、有意性は認められなかった。すなわち通電によつて陽極側への転倒反応を誘発される本法にあつてはいずれの側の足を前にしても有意の差がないと推論される。

Ⅲ “初発波”

0.25mA 刺激の場合にはさほど著明でないものもあるが、0.5mA, 1.0mA 刺激の波形においては通電開始後 0.8～0.6～0.4 秒に陰極側へ向う小さい波をはつきり見ることができる。この波が GAR 波形の中で最初に現われる波であるので初発波（Initial wave）と名付く。肉眼的観察では、看過される程の変化、動揺であり、被検者の大部分は自覚しない。著者の知る限りでは、いわゆる前庭反射としての頭部動揺に関する論文中、初発波に関する記述を見ない。

初発波の性質は（1）陰極側すなわち反傾斜側へ向つ

第6表 Falling Time
—Comparison of the Difference of Mean
Value owing to each intensity—

Posture & Intensity	Compared between		t=2,932 ($\alpha=0.05$)
	Groups	their Mean	
Left foot-Right	ma ma		
L-R+	0.25 : 0.5	8.6 : 5.2	t = 3.685**
〃	0.25 : 1.0	8.6 : 1.9	t = 12.154***
〃	0.5 : 1.0	5.2 : 1.9	t = 4.396**
L+R-	0.25 : 0.5	8.7 : 3.3	t = 5.804**
〃	0.25 : 1.0	8.7 : 1.8	t = 13.774***
〃	0.5 : 1.0	3.3 : 1.8	t = 1.895*
Right foot-Left			
L-R+	0.25 : 0.5	8.1 : 4.1	t = 4.623**
〃	0.25 : 1.0	8.1 : 1.8	t = 10.179***
〃	0.5 : 1.0	4.1 : 1.8	t = 3.757**
L+R-	0.25 : 0.5	8.0 : 4.4	t = 3.833**
〃	0.25 : 1.0	8.0 : 2.0	t = 7.514***
〃	0.5 : 1.0	4.4 : 2.0	t = 4.131**

* statistically not significant

** significant

*** dominantly significant

第7表 Falling Time
—Comparison of the Difference of Mean
value owing to "Polarity reversed"—

Posture & Intensity	Compared between		t=2,032 ($\alpha=0.05$)
	Groups	Mean	
Left foot-Right			
0.25	L-*: R-**	8.6 : 8.7	t = 0.136*
0.5	L- R-	5.2 : 3.3	t = 1.752*
1.0	L- R-	1.9 : 1.8	t = 0.084*
Right foot-Left			
0.25	L- R-	8.0 : 8.0	t = 0.101*
0.5	L- R-	4.1 : 4.4	t = 0.369*
1.0	L- : R-	1.8 : 2.0	t = 0.089*

* "L-" means "Negative" electrode on the left mastoid and "Positive" on the right mastoid.

** "R-" means "Negative" on the right mastoid and "Positive" on the left mastoid.

* not significant

** significant

第8表 Falling Time
—Comparison of the Difference of
Mean Value owing to Posture
(condition of foot position)—

Polarity & Intensity	Compared between		t = 2,032 ($\alpha=0.05$)
	Groups	Mean	
L-R+ 0.25	ma		
〃 0.5	Left*: Right**	8.6 : 8.1	t = 0.609*
〃 1.0	Left : Right	5.2 : 4.1	t = 1.127*
L+R- 0.25	Left Right	1.9 : 1.8	t = 0.084*
〃 0.5	Left : Right	8.7 : 8.0	t = 1.152*
〃 1.0	Left : Right	3.3 : 4.4	t = 1.152*
〃 1.0	Left Right	1.8 : 2.0	t = 0.088*

* Left foot in front of Right foot

** Right foot in front of Left foot

* not significant

** significant

ている。(2) 顕現例の大部分の例では一峰性であるが、中には2峰性の如く見られるものもある。(3) 出現時間は第9表の通りである。平均値でみると0.25mA 刺戟の時0.81秒。0.5mAでは0.65秒。1.0mAでは0.56秒である。(4) 加速度量は0.033g程度であることがわかる。

IV GAR 上の偏位と“振れ”

i) GAR 上の偏位を求めるには長周期性動揺波について、0.5秒間隔点上で零線から推定基線までの距離を測定した。すなわち20点において測定した距離の平均値(20例の)を以つて interval diagram を作製した(第9図の1と2)。

右足前あるいは左足前の Mann 氏姿勢、開眼時の GAR の偏位についてみると、零線よりの偏位(すなわち頭部の左右への傾き)は殆んどない。しかし閉眼後5~6秒あるいは7~8秒経過した頃に頭部の軽度の動揺が出現する傾向がある。しかしそれらはいずれか一方(左側又は右側に)に特に偏する傾向は見られない。そしてその後は安定して GAR 上の偏位も少くなる(第9図の1, 2参照, 以下同様)。

0.25mA 通電時には interval diagram に見る通り、明らかに陽極側に偏位することが知られる。そして1~1.5秒の間に1つの大きい偏位があり、やや回復しつつ5~6~7秒間に再び動揺偏位する傾向がある。右足前の場合と左足前の場合、それぞれ比較的良好似た diagram を示している

0.5mA 通電時には2~3秒間に大きい偏位、続いて5

第9表 Onset Time of Initial Wave on GAR of Clinically Healthy Subjects

No.	Posture Polarity Intensity	Left foot-Right						Right foot-Left					
		L+R-			L-R+			L+R-			L-R+		
		ma 0.25	ma 0.5	ma 1.0	ma 0.25	ma 0.5	ma 1.0	ma 0.25	ma 0.5	ma 1.0	ma 0.25	ma 0.5	ma 1.0
1.	Y. S.	0.8 ^{sec}	0.7	0.5	0.7	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5
2.	K. T.	—	0.4	0.5	0.8	0.5	0.6	—	0.6	0.5	0.8	0.3	0.4
3.	M. I.	0.7	0.6	0.5	0.8	0.6	0.6	—	0.6	0.5	—	0.7	0.4
4.	N. A.	—	0.7	0.6	0.8	0.6	0.5	—	0.6	0.5	0.7	0.8	0.6
5.	N. I.	0.6	0.5	0.4	0.8	0.7	0.6	—	0.5	0.4	0.6	0.6	0.5
6.	I. T.	0.7	0.7	0.7	0.5	0.7	0.7	0.8	0.4	0.4	0.9	0.8	0.6
7.	M. K.	1.5	1.3	0.9	1.6	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4
8.	M. M.	1.1	0.6	0.6	1.0	0.8	0.7	0.9	0.8	0.6	1.0	0.8	0.6
9.	M. N.	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.4
10.	M. O.	—	0.6	0.5	—	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	—	0.8	0.8
Mean		0.85	0.67	0.57	0.84	0.66	0.62	0.77	0.63	0.53	0.76	0.66	0.52

第9図 GAR—頭部の偏位—

偏位の平均値の Interval diagram

1. 左足前 (Mann 姿勢)

2. 右足前 (Mann 姿勢)

第10表 Acceleration of Head Movement induced by GAR-Test in Mann's posture

I. Right foot in front of Left

	g
Eyes closed only	0.019±0.002
0.25ma L-R+	0.031±0.005
0.25ma L-R-	0.029±0.006
0.5 ma L-R+	0.058±0.013
0.5 ma L-R-	0.070±0.008
1.0 ma L-R+	0.115±0.054
1.0 ma L-R-	0.103±0.054

II. Left foot in front of Right

	g
Eyes closed only	0.017±0.002
0.25ma L-R+	0.028±0.007
0.25ma L-R-	0.029±0.009
0.5 ma L-R+	0.034±0.013
0.5 ma L-R-	0.066±0.012
1.0 ma L-R+	0.110±0.067
1.0 ma L-R-	0.100±0.074

第10図 GAR—頭部の“振れ”— 振れの平均値の Interval diagram

秒前後にさらに大きい偏位の傾向が知られる。転倒時間の成績よりみて、この時間頃に転倒するものが多い。この時期に転倒しなかったものは、左・右に偏位しつつ経過して次第に安定してくる。

1.0mA 通電時には刺激負荷 0.5 秒目頃より頭部（身体）は急速に陽極側へ傾斜偏位して 2.5～3.0 秒程度で転倒する。転倒直前あるいは転倒時の偏位が減じ、零線に近づくように見えるが、これは足（下半身）が転倒側に出る（stone から降りて）ため、相対的に頭部（上半身）が垂直位（零線位）に近くなるためであろう。

ii) “振れ”（頭部動揺の加速度）

前述の如く、通電による頭部傾斜で偏位が起つているが傾斜しつつ頭部（身体）は動揺する。この動揺の様態を頭部の振れとして観察する。この振れは GAR 上、“偏位した基線”を推定してその点あるいは線（傾いた姿勢・位置で）より振れを目盛上に読みとり記録した。数値は全て絶対値として扱った。0.5 秒間隔の平均値

（20 例）を表および interval diagram として表現する（第 10 表、第 10 図の 1, 2）。

閉眼時には頭部の“振れ”に、さして変動はなく、僅かに 0.019～0.017g 程度の加速度量を持つ。

0.25mA 通電時には 2～4 秒経過時に振れがやや大きくなる。偏位にやや遅れて振れが大きくなる傾向が見られる。全経過の振れの平均値は約 0.03g である。偏位の interval diagram とほぼ同様に 6 秒前後までは振れは比較的大きいが、次第に振れも小さくなる。

0.5mA 時にもほぼ同様である。振れの平均値は 0.034～0.070g（平均 0.056g）の加速度量を有する。1.0mA 通電時には振れは急速に大きくなり、増大した偏位とともに益々頭部動揺、身体動揺が激しいことが推知される。2.5 秒～3 秒で転倒。全経過の振れの平均値は 0.1～0.12g である。最大の振れは 0.17g である。

V 副作用について

本検査中、自覚的にも、他覚的にも副作用、例えば局

所痛、頭痛、マイ感、嘔気、嘔吐、局所皮膚発赤（電極貼布部）、けいれんなどの出現に注意し、あれば直ちに記入した。その結果、副作用は殆んどない。僅か2例が1.0mA 通電時に局所痛を訴えたのみである。他覚的に認められた局所皮膚発赤（軽度）は約40%にあるが、自覚的には局所になんらの異常感も訴えていない。この発赤は検査後間もなく消褪する。

Ⅵ いわゆる Galvanogram (関谷) について

第11図の如く、Galvanogram 表現のための graphic scale を作製した。すなわち中央の目盛線は時間軸で10秒間を1秒毎に刻む。目盛線より上に左⊕右⊖の時に得られるGARを記入する。目盛線より下は逆の電極々性の時、すなわち左⊖右⊕時、のものを記入する。これによつて各GARでの波形と転倒方向が目盛線の方へむいており、さらに目盛線をはさんで相対して

第11図 Graphic scale for Galvanogram

第12図 Galvanogram

No. CHS-1

第13図 Galvanogram

No. CHS-5

いることになる。左への転倒状態、右への転倒状態を鏡像のよりに対比させることができる。そして0.25mA, 0.5mA, 1.0mA 各刺激値で得たGAR pattern をそれぞれに相当する所へ転写記入する（第12図、第13図）。

このように質的に表示するとともに刺激電流値の各段階毎に記入、対比させることによつて量的に反応を示現することができないだろうか考えたのである。

これらをさらに簡略化して転倒時間だけを記入した simplified galvanogram を作る。20名の simplified

第14図 Simplified Galvanogram 一覧
(20 Healthy adults)

galvanogramを一覧表として掲載する(第14図)。

総括

前庭機能検査法の内のGalvanic testの一変法として、Mann氏姿勢閉眼時、直流通電刺激(双極両耳後部法)時の頭部動揺を加速度計を用いて記録観察、解析する方法(GAR test)を健康成人20名に試みて次の諸結果を得た。

1) Mann氏姿勢閉眼時には頭部の偏位および振れは僅かである。すなわち基線の動揺は殆んどない。あつても特に一方へ偏することは少い。振れの加速度量は $0.018 \pm 0.002g$ である。

2) 双極両耳後通電刺激によつて、一般に頭部は最初陰極側へ向う小さい波(初発波と呼ぶ)が出現する。引続き陽極側への傾斜がはじまり、肉眼的観察によつても動揺・偏位が判るようになる。傾斜・動揺の後、復位(弱刺激値の時)するものと、そのまま陽極側に転倒(強刺激値の時)するものがある。

3) 0.25mA通電時には軽度または中等度の頭部動揺を誘発する。しかし転倒することは少い。約70%は10秒以上直立位を保持し得る。傾斜方向は陽極側へ向う。転倒時間(平均)は8.3秒である。振れの加速度量は $0.029 \pm 0.0067g$ である。

4) 0.5mA通電時には中等度の頭部動揺をきたし、陽極側への傾斜偏位も大きくなる。転倒時間についてのバラツキは大きい。平均転倒時間は3.3秒~5.2秒である。振れの加速度量総平均は $0.057 \pm 0.0115g$ である。

5) 1.0mA通電では頭部の動揺は大きく、急速に陽極側に傾斜し、転倒する。平均転倒時間は1.8~2.0秒である。

6) 転倒時間の平均値とそれらの信頼限界(5%の危険率で)は、0.25mA通電時は $6.4 \leq m \leq 9.6$ 秒。0.5mAの時には $2.8 \leq m \leq 5.4$ 秒。1.0mAの時は $1.5 \leq m \leq 2.5$ 秒である。

7) 転倒時間の各種条件による差の有意性:

i) 三種の電流値による差の間には殆んど有意が認められる。特に0.25mAと1.0mAとの間の差の有意性は著明である。

ii) 極性変換による差の有意性は認められない。すなわち左右差は認められない。

iii) 足位(右足前・左足前)による差の有意性は認められない。

8) 初発波: 通電後0.4秒から1.6秒の間にGAR上最初に発現する動揺波を呼称する。0.25mA時には判明

しない場合があるが、0.5mA、1.0mAでは明らかに見得る。その方向は陰極側すなわち反傾斜側へ向う。出現時間の平均は0.25mAで出る場合は0.81秒。0.5mAでは0.65秒。1.0mAでは0.56秒である。その加速度量は0.033gである。

9) GARの偏位と“振れ”: 偏位はMann姿勢閉眼時には左右いずれかの偏位の傾向は認められない。

0.25mA、0.5mA、1.0mAではそれぞれ陽極側に、電流値の増大にはほぼ比例して大きく、偏位する。

“振れ”は電流値の増大に比例して大きくなる。その程度(総平均値としてみると)は閉眼時には0.018g、0.25mA通電時には0.03g、0.5mA時には0.056g、1.0mA時には0.1~0.12gである。

10) Galvanogram: 電気刺激による頭部動揺の加速度記録図(GAR)をCalorigram類似のscale上に各極性、各刺激電流値を考慮して、転写し前庭脊髓反射としての頭部動揺の程度を質的・量的に知る方法を試みた。特にこのsimplified Galvanogramによつて反応の概略を知り得て有用である。

11) 副作用については、本法では特記すべきものはない。

12) 基本的波形の構成々分

GARによつて得られる頭部動揺の波形について以下のように構成々分を分け、呼称する。その各々について現象経過順に述べる。

i) 初発波……電流閉鎖刺激後直ちに陰極側へ向う小さい波を呼ぶ。

ii) 傾斜・動揺波……次いで陽極側へ向う傾斜動揺する波。

反撥波……傾斜・動揺波中に陰極側(反傾斜側)へ向う大きな棘波。

iii) 転倒波……転倒時の動揺波。

iv) 後傾斜動揺波……転倒から直立位に復する過程。

v) 反動波(開放刺激波)……回路の開放によつて刺激され、反対側へ向け、激しく動揺することがあるが、その際形成されるものである。以上の順を経て基線に戻る。これら基本的構成波の出没の遅速・大小によつて一見異つた波形を形作る。

波形には個人差はあるが、同一人においては刺激値の大小によつて得られる各波形に類似が求められる。そして刺激値の増加にともなつて波形は水平方向に短縮圧迫された形(丁度手風琴の伸縮に似て)となり、上下に高低の大きくなる傾向がある。

考 按

文献の事項（主として Galvanic test の）電気刺激、特に頭部通電によつてメマイ感、眼振などの誘発されることについては Volta が 1792 年に発表したのが最初であるという (Augustin³⁰⁾). さらに 1803 年に Ritter あるいは Augustin が夫々独自に研究・報告している。1820 年には Purkinje が錐体骨を介して電気刺激を加えてメマイその他眼運動の発来することを発表している。Hitzig (1871) が同様に人の頭部に通電して眼振のおこることを認め、Breuer (1874) は弱電流を試験の頭部皮膚表面より通電して眼振の発来する事実より、おそらく楕円嚢又は正円嚢を刺激するものと想像し、diffuse Reaktion と名付けた。以来 Ewald & Wollenberg (1911), Molinje (1922), Neumann (1907), Bárány (1907), Mackenzie (1917), Ruttin (1926) ら、本邦では石原 (1920), 脇田 (1920), 浜野 (1928), 小田 (1929), 南 (1930), 小出 (1931), 奈良 (1934) らの生理学的・病理学的あるいは実験的もしくは臨床的研究がある。

しかし近時この方面での研究報告は比較的少く、他の前庭機能検査（温度、回転検査など）が長足の進歩を遂げて、それらが定性的のみならず定量的に検査され、さらにそれらの方法にある程度の基準化がなされているのに反し、Galvanic test のみが看過されているように見える。

Mackenzie³¹⁾(1917) は 8 年間に亘つて Galvanic test を実施研究してきた結果として報告し、本法をきわめて良い検査法であると強調した。すなわち “more accurate than the caloric or rotational test” であり、“the most sensitive and the easiest to control, of the labyrinthine tests” であり、“Unilateral test” 等々であり、さらに “Galvanic test is the only one possessed for testing the function of the eighth nerve in cases of neuritis or in cases of secondary degeneration following destruction of the inner ear” であると多数の長所を列挙して本法の有用性を大いに強調したにもかかわらず、Peitersen & Zilstorff-Pedersen (1963) も記述する通り、i) 前庭系のどこに通電刺激の標的があるか、ii) 一定した刺激状態が得られるかということや、iii) やや一定値を求め難いこと、又 iv) 電極設置法についてはつきりした一致意見がなかつたことなどの疑問点があり、また電極の形状、通電量（これは galvanic nystagmus を観察示標としていた時に）によ

つては局所痛がかなり強く、一般通念としてわれわれが持つている電気に対する恐怖感と相俟つて敬遠されたりもした。そして教科書、あるいは諸種参考書中、前庭機能検査法といえば種々記載して来て、必ず温度検査、回転検査、電気検査と列記されるにも拘らず、電気検査の利用頻度は誠に低いように見える。

近年、臨床上 Galvanic test に関して比較的系統的に検査、研究報告されているものは数紙を数えるに過ぎない。Dix, Hallpike & Spencer-Harrison¹²⁾ (1949) は当時注目され始めた抗結核剤 SM が第 8 脳神経系を選択的におかすことより、SM 投与例 12 名について、Caloric test, optokinetic test ならびに galvanic test を実施した。特に galvanic test については対照検査 (control observation) を 12 名の正常人について行っている。すなわち双極法 (bipolar stimulation) (乳突部と胸骨柄とに) で接足直立閉眼位で、陽極側への動揺発現 (swaying) をもつて反応陽性とし、その時の電流値を記録している。無論、極性を変えて夫々に行う。その成績を一覧表として出しているが、それによると 1 個人については、電流値に特に左右差はないようである。さらに Dix らは陽性反応時の電流値平均は 0.3ma から 1.9ma であると述べている。

Ingelstedt & Walander¹³⁾ (1949) も SM 中毒患者 20 名に対して双極両耳法あるいは双極単耳法 (hand-ear) で検査し報告しているが、その記載の中で通常 (正常と解釈) では 2~3ma で眼振が陰極側へ向つて出ると述べている。その他増田 (1960), 福田他 (1962), Peitersen & Zilstorff-Pedersen (1963) などを見る。

従来、Galvanic test の観察示標は電気刺激で“誘発される眼振”を以つてする場合が多いように見える。しかし少数の人々が前庭脊髓反射を示標として検査を行っている。すなわち、Bárány (1907) と Quix (1926)³⁰⁾ は通電によつて past pointing test に偏示が現われることを；Fischer & Wodak (1924) は電気刺激で arm-tonus reaction に変化を証明し得ることを；Blonder³⁰⁾ (1937) は “balance board” の上に通常立位でいる時、通電して galvanic falling (この場合 platform の陽極側への傾斜) のおこることを示標として観察；Dix¹²⁾ 他 (1949) は接足直立閉眼時に通電とともに陽極側への動揺 (Swaying) のおこることを示標とし；教室の増田²³⁾ (1960) は Mann 氏姿勢時の転倒現象、遮眼書字時の偏書、歩行検査時の偏歩について研究報告している。その他 Peitersen & Zilstorff-Pedersen (1963) も

歩行検査時の偏歩についての報告等をしている。

前庭反応誘発電流値について

前庭脊髓反射として表現される転倒反応が、前庭眼反射として誘発される nystagmus より弱い前庭刺激（この場合電気刺激）によつて惹起されることはよく知られている事実である。実際、人についての報告で Jongkees¹⁶⁾ (1959) は偏倚誘発には 2~3ma, 眼振誘発には 3~4ma と記載し, Fischer¹⁾ (1956) は両極法で転倒もしくは転倒傾向は 1~1.5ma で患者に不快感を与えることなしに誘発し得る一方, 眼振観察には 2~5ma を要すると述べ, また Peitersen & Zilstorff-Pedersen²⁸⁾ (1963) は体の動揺は 0.2~0.8ma (平均 0.5ma) でおこるが, 眼振誘発には 3.0~5.0ma (平均 4.0ma) を要し, かつ強いメマイ感, 身体不安定を伴うと報告している。これをみると電気性転倒反応は電気眼振の大略 1/2~1/8 程度の弱い電気で起り得ることが知られる。

著者の成績では双極両耳後法（同大の小板電極接着）で Mann 氏姿勢閉眼時に転倒反応を誘発する電流値は 0.25mA~1.0mA である。

すなわち、著者は転倒するに要する電流閾値を直接求めているのではなく、規定電流に対する転倒反応の有無、様態を記録観察しているのであるが、0.25mA でも約 30% が転倒反応を示し、さらに 1.0mA では全例転倒反応がおこっていることより推定しうる。

電極ならびに刺激装置について：

電極の形状ならびにその設置部位はそれぞれの研究者によつて、種々その形、大きさ、部位、固定法などが考案されているものである。ここには主として臨床上用いられて来た電極ならびにそれらの部位について文献的に考察し記述する。

刺激装置（平流電気発生装置）についても同様のことが言える。

電気検査を迷路反応の臨床検査法として始めて用いた Neumann (Fischer¹⁾ による) の電極の形状とそれらの設置部位は未詳である。しかし Mackenzie⁵⁾ (1917) は a small ball electrode (直径 1/4 inch またはそれ以下) の関電極と平板 (2inch 平方) の不関電極を用いての単極単耳法を用いていたようである。装置については適当な電気刺激器 (suitable electrical apparatus) が必要であり、それは接触がよく正確な milliamperemeter を有し、極性変換 SW のあるものと述べている。

奈良⁹⁾ (1934) は耳鼻科にて日常治療に使用していた

“Kataphor Apparat” (特殊の平流発生機でミリアンペアメーター、微細調節用抵抗器などを組合せたもの、電源は 100V の灯用線より) を用い、関電極に直径 1cm 弱の球状のもの、不関電極に平板 (10×4cm) で、単極単耳法とし、耳珠に関電極を、不関電極は反対側前膊の屈側部を選んでゐる。

1947 年、Glorig & Fowler³⁶⁾ は双極両耳法によつて SM 中毒患者の前庭機能検査を行い、眼振発来閾値を求めている。

1949 年、Dix, Hallpike & Spencer Harrison は pad を用いて両極両耳法（両乳突部）あるいは両極単耳法（乳突部と胸骨柄部とに）でもつて通電検査している。装置については不詳である。

Ingelstedt & Walander (1949)¹³⁾ も双極両耳法あるいは双極単耳法 (hand-ear application) によつてゐる。刺激装置については記載されていない。

Richter & Pfaltz³⁷⁾ (1959) は双極両耳法（耳後部）または単独法で眼振を観察するが、これを光電的 ENG を応用して記録している。福田ら (1962) は直径約 2cm の円板電極 2 コ（同大）を用い、双極両耳法で行つてゐる。刺激装置は市販のイトー式マスキューレーター D 型（平流刺激発生装置）を使用している。

Peitersen らは直径 3cm の円形電極を用いて種々の電極設置の組合せを以つて検査している。

以上要するに電極の設置法としては、

- 1) 単極単耳法
- 2) 単極両耳法
- 3) 双極単耳法
- 4) 双極両耳法

の組合せがあり、さらに前頭胸部法 (Front-mammary) (Hennebert) がある。しかし最も弱いあるいは小さい通電量で反応が得られること、副作用が最も少いことなどから、双極両耳法が一般に推奨されている。

著者は別途に行つた単極一耳後部通電法によつて得られる GAR の成績と双極両耳後法における GAR の成績が互いに全く近似する実験事実 (第 15 図) と、本検査上左右の極性変換が容易に行える利点と、さらに局所の疼痛が少いことなどより、本研究では双極両耳後法によつて行うことにしたのである。直流電気刺激装置については前述の如く本研究の目的のため教室の野中が考案作成したものをを用いた。

加速度計（非接着抵抗線加速度変換器）ならびに加速度記録図に関して：

第 15 図 単極耳後法と双極兩耳後通電法とにおける GAR の比較とそれらの近似性

- I 単極耳後部通電法（一側耳後部に関電極をおく
不関電極は右手関節部内側面に固定する）

波
形 電
極

- II 双極兩耳後部通電法（兩耳後部にそれぞれ
同大の電極を貼付する）

要するに、波形 E（左（-）右（+））は波形 A（左（-））と波形 D（右（+））として、波形 F（左（+）右（-））は波形 B（左（+））と波形 C（右（-））とに、それぞれ全く良く近似することが判る。

歪計 (strain gauge) (以下 SG と略記) は導線の伸縮にともなつてその電気抵抗が極めて微細であるが確実に増減すると言う原理を Lordkelvin が発見し、Baldwin が実用化したものだが現在工業方面において各種の測定に利用され、その応用範囲は誠に広範囲である。

ストレイン・ゲージは機能・形式より二大別できる。

1) 接着抵抗線型歪計と 2) 非接着抵抗線型歪計である。後者の非接着抵抗線型計器は紙ゲージやベークライトなどの接着型ストレイン・ゲージと異り、被測定物に貼りつける必要がなく、微小な変位、加速度、荷重および圧力などの物理量を電氣量に変換することができる。共和電業では特に加速度を測定するための A 型加速度変換器 (linear accelerometer) を開発した。これは極めて小型軽量でしかも固有振動数もかなり高い。これら動的歪の測定・記録には変換出力は歪測定器を通して増幅してオシログラフに現象を記録して行くことができるもので

ある。

この種計器の工学的方面における応用分野は極めて広く、以前より用いられていたが、医学研究の領域にも近年導入応用され始めた。

Jongkees & Groen (1952)²¹⁾ は physical-mechanical method を駆使して人間の前庭器官の機能解明に務め、特に前庭器官の活動性を詳しく知るために加速度の機序を追求するの一つの手段として感応コイルを応用した一種の加速度計（可動線輪中の induction current の変化をピック・アップしている）を人の頭部に付け、歩行中の各種加速度の測定を行い、特に正常人ならびに患者について歩行時の頭部動揺の加速度記録図を観察して著差のあることを認め、人の歩行運動時の迷路刺激の様態を考察している。著者の知る限りでは本邦における SG の医学方面の応用は菅野 (1953) が脈圧計として、笹本ら (1954) が血圧計として、山口他 (1957)²⁰⁾ がストレイン・ゲージによる生体微小圧変化の測定法について報告し、SG を用いる方式には電子回路における機械的困難性があるが、これを克服すれば、生体微小圧変化の記録・測定に定量的に応用し得ると述べている。そして山口らは指尖プレチスモグラフに本法を応用しているのが見られる。

北原 (1959)²¹⁾ は前庭迷路の生理学的領域に、本邦で始めて導入し、非接着抵抗線型直線加速度計を歩行にかぎらず、種々の静的動的姿勢の頭部動揺の記録に応用している。内海他³⁹⁾ (1961) は「内耳性筋反応に関する研究」の中にて、動物に直線運動を負荷し、その移動時の刺激の強さ、およびその時間的変化の経過を記録する方法として SG を応用して加速度計を試作応用して「満足すべき成果」を得ている。

以後、加速度計を応用して身体動揺を観察したものは、宇野²⁰⁾ (1963) が平衡機能の年令的変遷に関する研究に用い、また Mann test 時における頭部動揺の左右成分の比較検討についての考察を行つている。

北原・佐藤²⁹⁾ (1964) は斜面台検査加速度記録法として応用し、臨床検査法として意義あるものだと言及している。

われわれも数年来、加速度記録図法を諸種前庭機能検査時の頭部身体動揺の測定に応用してきた。特に著者は電氣検査 (Galvanic test) 時の頭部動揺を加速度記録図として記録・解析し臨床検査法としての galvanoacceleroregistrogram (GAR) を試み、これの前庭機能検査法としての有意義性を研究してきた。

Galvanic test に関して、その観察点（示標）を他覚的客観的に記録して報告したものは極めて少い。すなわち観察示標を Galvanic nystagmus に求めているものは最近著しい発達普及した ENG 記録法によつても不満足な結果を得ているからであろう（電流の雑音が強烈に入ること、通常の ENG では電氣的眼振はあまりにも振幅が小さいことなど）。そこで、Richter & Pfaltz (1959) は光電的 ENG を応用観察している報告がある。しかし電氣刺激によつて誘発された前庭脊髓反射としての頭部動揺を“示標”として観察したものにはその他覚的客観的記録を行つた報告は誠に少い。

唯、北原²¹⁾は種々の前庭刺激負荷時における頭部動揺の加速度計による研究を行い、その中で接足直立閉眼位の被検者に 0.5mA を 20 秒間、双極両耳法で通電して誘発した頭部動揺を記録している報告がみられるのみである。それによれば、開眼時には通電による頭部動揺の発現は見られないか、僅かに推知せられる程度であるが、閉眼時には頭部動揺が著明に誘発されることが知られ、それも陽極側の方に傾斜・動揺することが記録されている。そしてこの加速度記録図法は前庭身体反射の表示として有意義であると結論している。

著者らも前述の通り、この加速度計を用いての頭部動揺の記録によつてほぼ満足すべき成績を得ている。そして関係計器の小型化によつて日常臨床検査、特に諸前庭脊髓反射の記録分析に頻用されるようになるであろう。

通電時頭部動揺の方向性について

著者の実験では、通電中頭部の動揺、傾斜あるいは身体の転倒の方向は、陽極側へ向い、電流を切ると逆に陰極側へ向つて動揺（時に転倒）する。この方向性について北原の成績をも参照しつつ考察を加えると；接足直立閉眼位で、左耳に冷刺激を与えた時の頭部動揺の方向は同側に向つていること（すなわち眼振緩徐相の方向）。一方、同様の姿勢で左十右一の電氣刺激を負荷した時、頭部動揺は左方へ向つていること、すなわち陽極側に向う。

これらのことより、Fischer & Wodak (1924) が Arm-tonus reaction を観察示標として研究した結論として陽極刺激は冷刺激時の反応態度に；陰極刺激は温刺激時のそれに相当すると述べている成績に一致する。

青木 (1960)²²⁾は通電、遮電時の電氣刺激は回転刺激と甚だ良く似た成績を示すと述べ、実験動物（家鶏）は通電と同時に陽極側へ著しく偏倚し、通電中この偏倚姿勢をとり、陰極側に向う頭振を盛んに発来すると言う。

さらに石川 (1959)²⁴⁾は家兎の中耳腔骨胞を開放し、正円窓部に電導子を置き、他方の不関電導子の中耳腔内で外側縁部に置き、直流通電した場合の体位変化を EMG を用いて研究しているが；陰極通電刺激の場合、顕著なことは頭部の偏位で、刺激の反対側に傾斜、やや後屈する。前肢は刺激側で軽度伸展、対側で屈曲。軀幹は刺激側を凸面として軽度に彎曲する。このような体位変化は通電中持続している。所が一方、陽極刺激では；頭部は刺激側に傾斜後屈、軀幹は刺激側を凹面として彎曲する。すなわち陰極刺激の場合とすべて逆の反応であると述べ、さらに筋電図学的に興味ある所見を得ている。すなわち陰極刺激により、刺激対側の深層項筋、仙棘筋、前肢の屈筋および刺激側の前肢伸筋において筋放電頻度の増加を認めた。これに反し、刺激側の深層項筋、仙棘筋、前肢筋および刺激対側の前肢伸筋は筋放電頻度の減少を証明し、他方、陽極刺激の場合、陰極刺激の成績と全く逆の筋反応を証明しており、迷路通電刺激の効果として、それぞれの支配下にある骨格筋の放電頻度は陰極通電で増加、陽極通電で減少をきたすものであらうと述べている。

本実験における一定方向への動揺・偏倚、転倒現象を説明するに、陰極通電刺激は迷路性筋緊張を昂め、これに反して陰極通電刺激は迷路性筋緊張を低下せしめている事実（石川²⁴⁾）さらに通電中迷路性筋緊張は持続的に影響されていること（石川²⁴⁾、青木²²⁾）から、以下の如く解釈される。すなわち、通電により、動揺・偏倚をきたすのは、弱電流通電刺激が加つた時、陰極側では迷路性筋緊張が昂められ、陽極側で筋緊張の低下がおこる。これによつて全身筋群の迷路性筋緊張の変調、特に左右の差の現れとなり、頭部（身体）の動揺・偏倚をきたし、さらに進んでは迷路性筋緊張の著しい失調によつて転倒現象を惹起するものと考ええる。

特にその方向性は、石川²⁴⁾（家兎における実験）も述べる如く、迷路性筋反応は深層項筋、仙棘筋、前肢筋に対して交叉側性に、前伸肢筋は同側性に主として出現していると述べているが、これらの筋肉、就中仙棘筋は人体にあつても起立姿勢を維持する抗重力筋としてその働きをなす役割は大なるものがあると言う。

これらの事実より、陰極通電の対側（陽極側）の骨格筋において、筋緊張が高まり、その結果、頭頸部・軀幹が陽極側に向つて屈曲偏倚する現象が顕現されるものと考ええる。この姿勢の偏りは直ちに proprioceptive（本実験の場合視性の調節は除かれているとして）、迷路な

どに受容され反射となり、姿勢調整の動き——立直り反射——となり、それらの繰返しと総合によつて傾斜姿勢の中で反撥性の動揺波をおこす

電流を断つと、極性が全く逆となり、それに従つて筋緊張も変換し、一旦陽極側へ傾いた頭部（軀幹）も一気に陰極側へと偏倚するものであろう。

しかしこれらの機序はさらに複雑なものであることは、姿勢の調節にはこれら迷路、視器、proprioceptive, exteroceptive のみならず、さらに二次的（又は一時的にも）に高位の中樞の影響を受けているからである。

結 論

Galvanic test を患者への負担を少くし、かつ簡単で、さらに定性的・定量的に実施するための試験研究を目的とした。そのために、Mann 検査時姿勢・閉眼位の通電時、転倒現象を示標とし、規定した3種の弱電気刺激を用いる。さらに加速度記録図法を応用して頭部動揺・傾斜・転倒現象を他覚的客観的に記録・分析した。電極は直径 10mm の円形銀板電極2コを用い、双極兩耳後法とした。

電気刺激時加速度記録図を Galvanoacceleroregistrogram (GAR) と呼称する。

健康成人 20 名について本法を行い、以下の成績を得た：

- i) 通電によつて先ず陰極側へ向う小さい動揺がおこる（初発波と命名）。
- ii) 陽極側への比較的又は全く著明な傾斜、時に転倒が起る。
- iii) 0.25mA では動揺は少く、初発波、転倒現象の出現は少い。1.0mA ではそれらは殆んど必発する。
- iv) 電流値の増加によつて現象の出現時間は短縮し、偏位および“振れ”は大きくなる。
- v) 極性を変えても転倒時間に有意の左右差を認めない。
- vi) 転倒時間の平均値は；0.25mA 刺激時、8.3 秒。0.5mA 時、4.4 秒。1.0mA 時、1.9 秒である。
- vii) 初発波の出現時間は平均 1 秒以内である。
- viii) 頭部通電中誘発された頭部動揺の“振れ”の加速度量は全経過の平均としてみると：Mann 氏姿勢、閉眼のみのとき、0.018g；同上、0.25mA 通電時、0.03g；0.5mA の時、0.056g；1.0mA では 0.1～0.12 であつた。
- ix) 副作用として特記すべき事柄はない。
- x) いわゆる Galvanogram の表現法については今後、臨床例の Galvanogram の結果との比較検討を行なう。

結 語

前庭機能検査法として Galvanic test を、被検者への負担が少く かつ簡易で、さらに定性的・定量的に実施するための基準化を目的とする。そのために Mann 検査時姿勢・閉眼位の通電時、転倒現象を示標とし、規定した3種の弱電気刺激を用いる。さらに加速度記録図法を応用して誘発される頭部動揺、傾斜、および身体の転倒現象を他覚的客観的に記録・分析する方法 (GAR test) を考案した。健康成人 20 名について本法を行い、比較的一定した成績を得た。

主要文献

- 1) Fischer, J.: The Labyrinth. Grune & Stratton Inc.(U.S.A.), 1956.
- 2) van Egmond, Groen & Jongkees: The Function of the Vestibular Organ. S. Karger A.G. (Basel), 1952. (内海貞夫訳、医歯薬出版 1959).
- 3) 木谷芳一：オシログラフの理論と取扱、電気書院（京都）、1962.
- 4) C.W. エメンス（松田勝一訳）：医学と薬学のための応用推計学、共立出版（東京）、1955.
- 5) G.W. Mackenzie: Galvanic Test of the Internal Ear. Layngoscope, 27: 200, 1917.
- 6) Huizinga, E.: De la réaction galvanique de l'appareil vestibulaire. Acta Otolaryng., 15: 451, 1931.
- 7) 南：電気刺激による聴器障害の実験的研究, I, II, III, 耳鼻臨, 24(1): 1930 (小出より).
- 8) 小出鈞：電気刺激後に発来する特発性眼振の末梢迷路説(南氏)に対する実験的補遺, 耳鼻臨, 25: 289, 1931.
- 9) 奈良太二郎：健康邦人における電気性眼振震盪の検査成績, 大日耳鼻, 40: 433, 1934.
- 10) Northington, P. & Barrera, S.E.: The Galvanic Nystagmus Reaction in the Monkey. Am. J. Physiol., 120: 703, 1937.
- 11) Dohlman G.: On the mechanism of transformation into nystagmus on stimulation of the semicircular canals. Acta Otolaryng., 26: 425, 1938.
- 12) Dix et al.: Some observation upon otological effects of streptomycin intoxication. Brain, 72: 241, 1949.
- 13) Ingelstedt & Walander: The Effect of Streptomycin on the Galvanic reaction. Acta Otolaryng., 37: 521, 1949.
- 14) Dix & Hallpike: The pathology, symptomatology and diagnosis of certain Common disorder of the vestibular system. Ann. Otol. (St. Louis), 61: 987, 1952.
- 15) Jongkees: Die galvanische Prufung. Forts. H.N.O. Heilk., I: 128, 1953.
- 16) 上塚万寿男：電

流作用の迷路における侵襲部位決定に関する生理学的実験, 岡医誌, 67: 753, 1955. 17) *Lowenstein, O.*: The effect of galvanic polarization on the impulse discharge from sense endings in the isolated labyrinth of the thorn-back ray. J. Physiol., 127: 104, 1955. 18) *Johnson & Brydon Smith*: Differentiation of intracranial & peripheral vestibular lesions. The Laryng. (St. Louis), 67: 669, 1957. 19) *Hahn, R.*: Beobachtung über Wichtigkeit und Klinische Wert Klinischer Vestibularis-reizung. Ann. Laring. ecc, 55: 214, 1957. 20) 山口, 他: ストレインゲージによる生体微小圧変化の測定法について, お茶の水医学, 5: 135, 1957. 21) 北原正章: 頭部動揺の加速度成分に関する基礎的研究, 耳鼻臨, 52: 1044, 1959. 22) 青木茂: 反覆頭部通電による迷路反射の変化, 日耳鼻, 63: 765, 1960. 23) 増田周: Galvanic Test の研究, 耳鼻臨, 53: 1507, 1960. 24) 朴沢二郎: 電気性眼振の本態に関する臨床的考察, 耳鼻喉科, 33: 939, 1961. 25) 福田精, 他: Galvanic Test の一規準, 日耳鼻, 65: 279, 1962. 26) 宇野良二: 平衡機能の年令的変遷に関する研究—加速度計による身体動揺の観察, 耳鼻臨, 56: 68, 1963. 27) 角田幸: 前庭迷路脊髄反射に関する研究, 日耳鼻, 66: 332, 1963. 28) *Peitersen & Zilstorff-Pedersen*: Vestibulospinal Reflexes. III. Arch. Otolaryng., 77: 586, 1963. 29) 北原, 佐藤: 加速度記録図の臨床的応用, 耳鼻臨, 57: 57, 1964. 30) *Blonder*: Galvanic Falling in Clinical Use. Arch. Neurol & Psychiat. 37: 137, 1937. 31) 福田精: 運動と平衡の反射生理, 医学書院, 1957. 32) 本庶正一: めまい—検査と治療法—, 金原出版, 1960. 33) *Augustin, F.L.*: Versuch einer Vollständigen systematischen

Geschichte der galvanischen Electricität und ihrer medicinischen Anwendung, Berlin, Der Felishischen Buchhandlung, 1803 (*Peitersen & Zilstorff-Pedersen* より引用). 34) 石川正: 迷路直流通電刺激による筋反応, 日耳鼻, 62(3): 125, 1959. 35) *Quix, F.H.*: Ned. T Geneesk, 70: 471~475, 1926. cited by *Peitersen, E. & Zilstorff-Pedersen, K.*²⁸⁾. 36) *Glorig, A. and Fowler, E.P.*: Tests for labyrinth function following streptomycin therapy, Ann. Otol., 56: 379, 1947. 37) *Richter, H.R. and Pfaltz, C.R.*: Confin. neuro. 18: 370, 1958 (前庭研究会抄録, No. 753). 38) 本川弘一: 電気生理学, 岩波全書, 153, 1954. 39) 内海貞夫, 他: ストレイン・ゲージを応用して試作した加速度計について (内耳性筋反応に関する研究), 共和技報, 42号, 253, 1961.

擱筆するにあたり, 懇切なる御指導, 御校閲を賜った恩師本庶正一教授に衷心より謝意を表します。又本研究に際し, 終始御指導, 御助言を賜った本学生理学教室, 丹生治夫教授, 川端五郎教授に深甚なる謝意を表します。あわせて御助言を賜った野中兼男元助教教授ならびに御協力下さった辻川修講師, 山田隆志学士, 教室員各位に深く感謝します

なお, 本論文の要旨は, 下記の学会でそれぞれ発表した。日耳鼻九州・長崎・山口3地方合同学術講演会 (38年7月・長崎)。日耳鼻山口地方会 (38年11月・山口)。日耳鼻第65回総会 (39年5月・徳島)。日耳鼻九州・長崎・山口3地方合同学会 (39年6月・久留米)。

(原稿到着=昭和40.5.31日—急載)