

生体電気刺戟装置の電気催眠器としての応用

共和応用物理研究所

太田 勇 夫

埼玉大学文理学部物理学教室

町田 勝

A Universal Stimulator as an Electrohypnotic Apparatus

Isao Ota

Kyowa Applied Physics Institute

Maşaru Machida

Physics Lab. Faculty of Science & Literature,

Saitama University

近年生体電気刺戟装置に関する関心が相当高まっているが、特に最近各方面で注目をあびている超微細電極 (ultramicro electrode) による細胞内電位の研究等には欠く事のできない装置であり、動作が安定確実で制御容易な装置の出現が望まれてゐる。

電氣的に生体を刺戟する装置の工夫の歴史は甚だ古く、実にありとあらゆる方法が使われてきたが、出さる波形を容易に制御しうる事其他の優れた特性の理由で電子管式が最もよいという事には異論がないようである。従来用ひられてきた電子管式生体電気刺戟装置の最も簡単なものは multivibrator 式の矩形波発生装置であるが、之

はその発生波形は不正確で而もその周波数は不安定であり、周波数を変えると波形まで変わってしまうもので生物実験の結果の解釈の際にも甚だ不便であり、臨床用としては危険きわまりないものである。そこで最新の電子管式刺戟装置はすべて周波数、パルス巾、及び出力電圧を各々

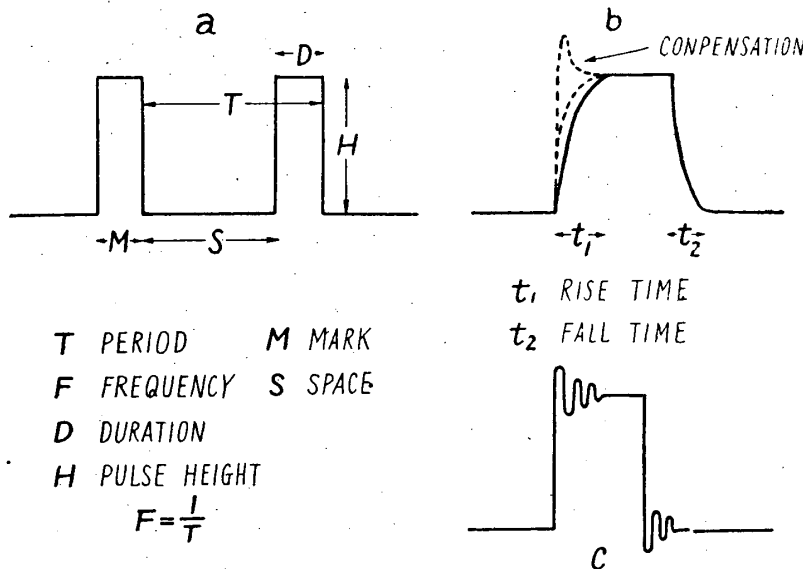
独立にお互に何等の影響を与えない様に設計されている。之等は戦時中のレーダー技術及び最新の原子核物理実験の技術を応用したものであり、殆ど望むあらゆる波形を正確に実現する事も可能である。

我々は昭和27年 東大医学部生理学教室の要望によ

り、所謂万能刺戟装置 (Universal Stimulator) を試作したが生理学実験及び臨床用の目的に充分な特性をもつものを完成した。

ところが最近ソヴェト其他で“電気睡眠療法”なるものが盛に行われ神経症高血圧及び潰瘍にまで相当の効果をあげている事がわかり我国でも漸次注目されつゝある事を知ったので、我々の Universal Stimulator を電気睡眠療法に應用する事を検討した結果、睡眠器専用の Stimulator 及び接触電極を試作した。次に我々の Universal Stimulator 及び電気睡眠器専用 Stimulator の概要をのべる事にする。

SQUARE WAVE



第1図 矩形波パルスの性質

I Universal Stimulator

Universal Stimulatorとして要求される性能はぜいたくをいばきりがないが大体次の様な要求がある。パルス発生機構として

- (1) 任意の周波数 任意のパルス巾、任意のパルス高電圧による連続刺戟
- (2) 単一パルスによる単一刺戟

- (3) ダブル・パルスによる単一刺戟及び繰返し刺戟
 - (4) グループ・パルスによる単一刺戟及び繰返し刺戟
- パルス波形として

- (1) 矩形波
- (2) 鋸歯状波
- (3) 三角波
- (4) 階段状波
- (5) 指数減衰波

出力端子として

(1) 一端接地 極性正負 (2) 両極絶縁

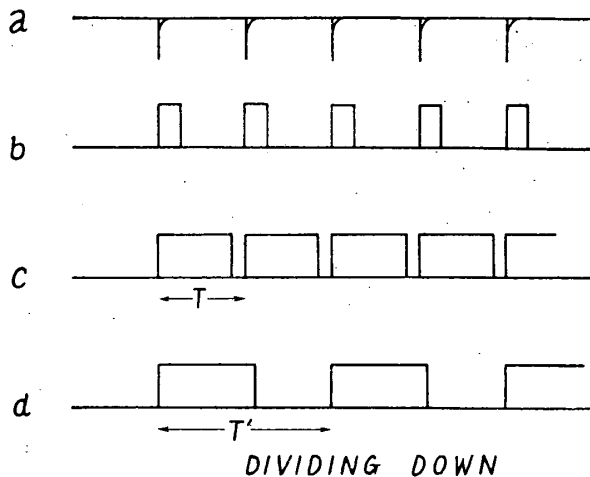
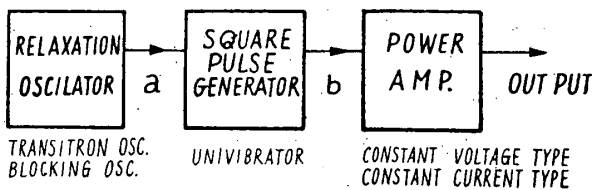
等であり其他パルスによる他の測定装置へのリレー動作等を行わせる事が要求される事がある。

我々は以上の要求の内、最も普通に用いられ、又その効果判定解釈の際疑問を残す事の少ない矩形波連続刺戟装置パルス極性正負変換可能で単一パルスも出しうるものを選んだ。両極絶縁型は臨床上は便利であるがパルス巾の広いものを用いる事が困難である理由で採用しなかった。

(A) 矩形波型

第1図に示す様に矩形波パルスの性質で最も大切なのはその立上り時間 (rise time) t_r 、及び下降時間 t_f (fall time) であり波の斜めの部分にひいた切線が上昇又は下降に要する時間、又は波高値の最終値の10%より90%まで上昇又は降下するに要する時間で定義されるものである。 t_r 及び t_f がなるべく小さい様にすべきである。之はStimulatorの出力端子を生体に接続した状態に於て短くなければならぬので、もとのパルスが正確である事と共に、Stimulatorの出力インピーダンスが小さい事は是非必要である。現在の技術では適当な真空管を用い、適当な回路を用いればこの rise time を μs の数分の一以下にする事は容易であるが Stimulator の場合は同時に非常に長いパルス巾を要求するので結局甚だ広い帯域増巾を必要とする事になる。そこで普通第1図 b の如く補償 (Compensation) を行つて波形を補正する。それが過大でも過小でもよくない事は図の通りである。往々 Stimulator には第1

BLOCK DIAGRAM



第2図 パルス発生機構

図 c の様な波形のものもある。

(B) 回路の構成とパルス発生機構

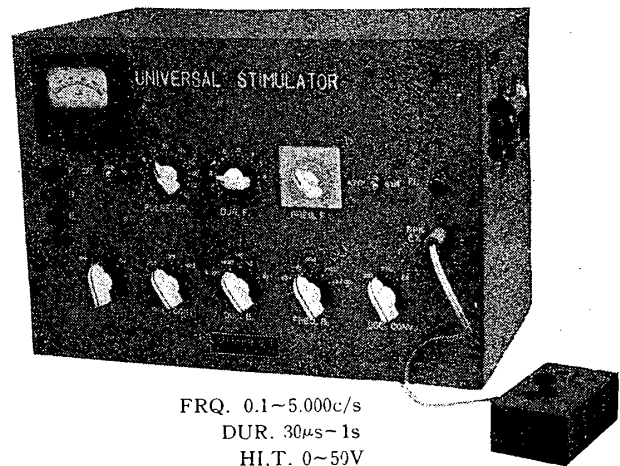
第2図にパルス発生機構を示す。先ず発振器により刺状波を発振する。之は弛張振動発振器 Relaxation 発振器を用いる。Multivibrator, blocking oscillator, transitron oscillator 何でもよいが我々は transitron-miller oscillator (1) を用いた。広い汎用の周波数変化に対し安定に発振するものである必要がある。その出力波を微分して第2図 a の如き刺状波を得る。次に之を Univibrator にいれて矩形波パルス b を trigger する。パルス巾は Univibrator の常数を変えて行う。我々はパルス巾をきめるダイヤルの読みが linear になる様な回路を採用したが之は基た使用の際便利である。その矩形波パルスを最後の電力増巾部へ入れて出力端子に任意の周波数任意のパルス巾、任意の波高値のパルスを得る。機構上周波数、パルス巾、波高値は各々独立に発振器、Univibrator、電力増巾部で決定されるのでお互に影響する事はない。

ここで注意すべき事は、第2図 c, d の如くだんだんパルス巾がひろがって行き、ついにパルス間隔 T を越すと Univibrator が次の刺状波パルスを受けないので一つおきの刺状パルスしか有効でなくなり周波数が $\frac{1}{2}$ に減る。之を Dividing down と称して臨床の場合には危険になる事がある。更にパルス巾がひろがると次々に dividing down して、周波数が $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, となる我々の Stimulator は之を出力端子にクリスタル・スピーカーをつけて監視している。もし dividing down を起すと音が1オクターブ下るので判然と之を知り得るのである。

(C) 試作装置の概要

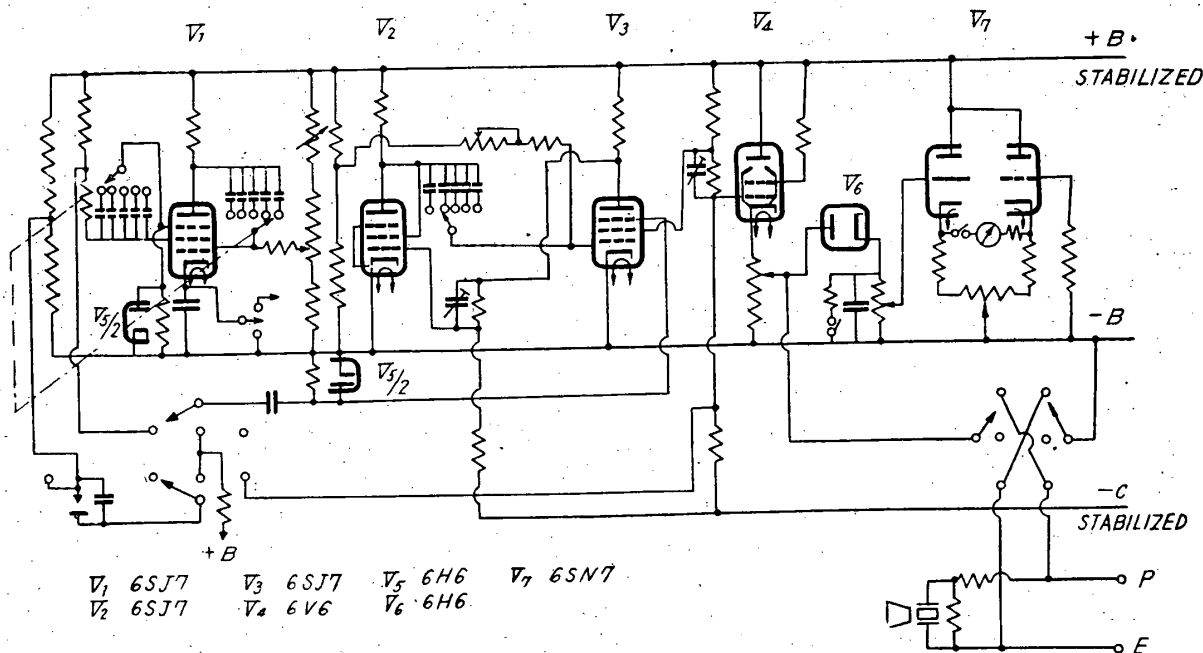
実際の試作装置及びその回路図を第3図及び第4図(次頁)に示す。その性能は

周波数: 0.1 c/s ~ 5000 c/s まで5段切換, 各段微細調整, 手動キーにより単一パルス及び平流を出しうる。



第3図 試作せる Universal Stimulator U-II型

CIRCUIT DIAGRAM OF UNIVERSAL STIMULATOR



第4図 U-II型の回路図

パルス巾: 10 μ S~1000 mS まで, 5段切換, 各段微細調整

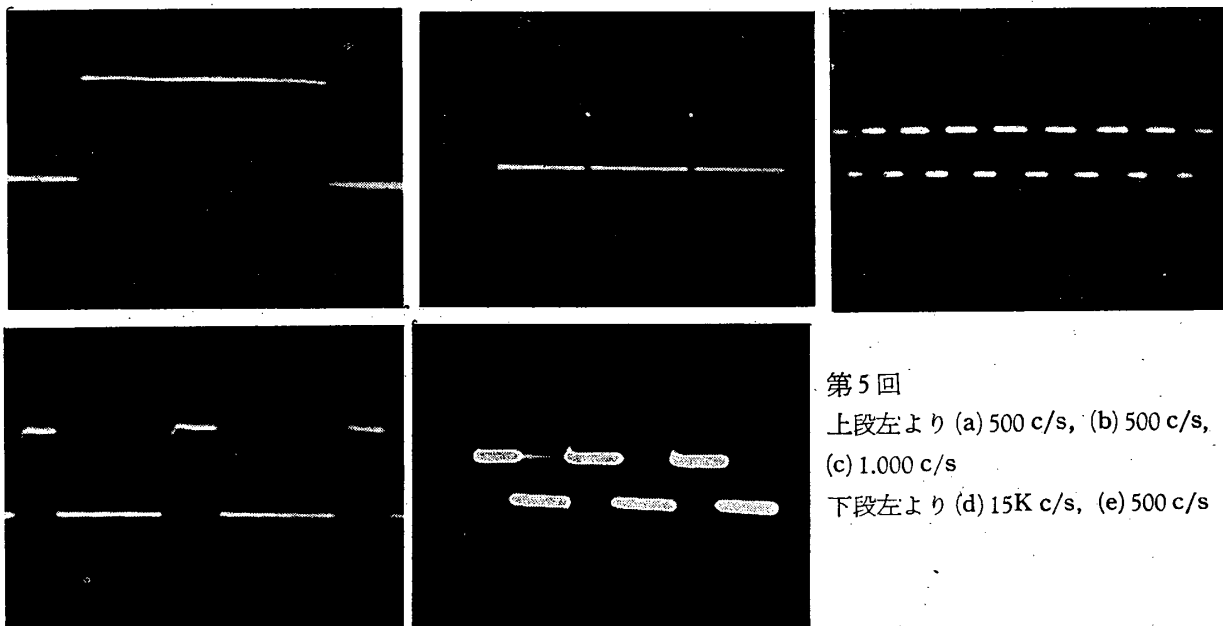
出力電圧: 0~50 V 連続可変, 定電圧型

パルス極性: 正負切換

rise time は最小パルス巾の $\frac{1}{10}$ 以下にしてある.

第4図に於て V₁は発振器, V₂及びV₃が組んで Univibrator をなし, V₄が電圧増巾部である. V₇は出力電圧の peak を示す真空管電圧計である.

(D) 出力電圧波形



第5回

上段左より (a) 500 c/s, (b) 500 c/s, (c) 1.000 c/s

下段左より (d) 15K c/s, (e) 500 c/s

第5図に我々の Universal Stimulator によって得られたパルス波形を示す. brawn oscilloscope 組込の増巾器の立上り時間を考慮して充分短い立上りを示している事がわかる. 第6図は波形の Compensation を

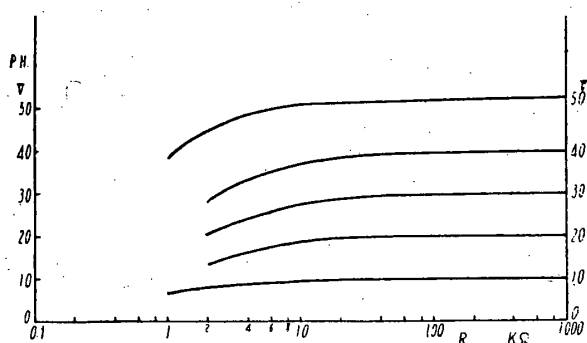
やり過ぎたものの一例を示し, 之は有害である. Univibrator と最終段増巾部とは直流結合を用いているので超低周波発振 (1 c/s~0.1 c/s) でパルス巾 1 sec の如き場合でも波形は全然くずれない.

(E) 出力インピーダンス

実際に Stimulator を生体に適用する場合, 生体の抵抗は相当低いのが常である. 而もその抵抗は湿度, 接触の圧力其他で大きく変化する. 故に Stimulator の出力インピーダンスが充分低くないと予め set した

電圧はとる電流の変化に伴い大きく変化し, 又波形も矩形波でなくなってくる. 我々の Stimulator は最終段を Cathode follower にしているので実用的な意味で定電圧といえる.

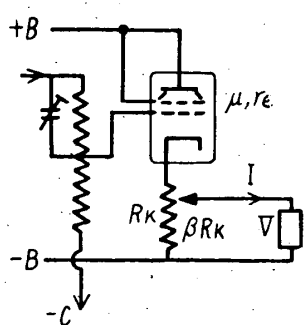
CONSTANT-VOLTAGE CHARACTERISTICS



第6図 定電圧特性

第6図に一定波高電圧に set しておいて後(負荷を接続せず), 抵抗値 R の生体に接続した時の波高電圧値の変化を示すものである。之によれば相当の範囲の抵抗値の変化に対して電圧一定とみてよい事がわかる。

OUTPUT IMPEDANCE



$$\frac{dV}{dI} = \beta R_K \left(1 - \frac{R_K}{1 + R_K} \beta \right)$$

$$= f(\beta)$$

$$f'(\beta) = 0$$

$$\beta_{Max} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{r}{R_K} \right)$$

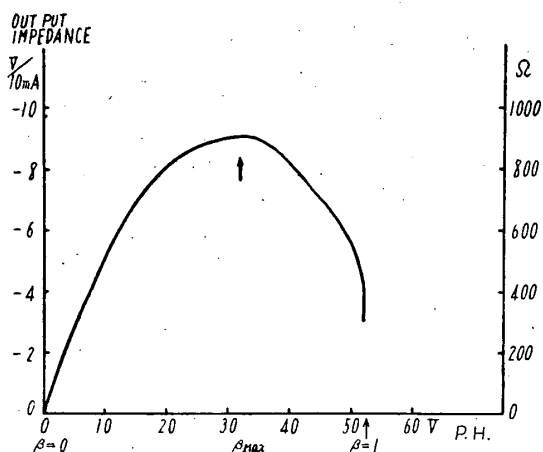
$$= 0.612 \text{ (Exp.)}$$

$$\left[\frac{dV}{dI} \right]_{Max} = \frac{\beta_{Max} R_K}{2}$$

$$= 917 \Omega$$

$$\approx 900 \Omega \text{ (Exp.)}$$

$$r = \frac{r_e}{1 + \mu} \quad R_K = 3K\Omega$$



第7図 出力インピーダンス

注意すべき事は出力端子をポテンシオメータ式に取出している事で, その為第7図に示す様にポテンシオメータの中頃(我々の場合最大値の~61%のところ)で出力インピーダンスの極大ができることである。之は理論的にも当然予期されるもので第9図の計算の如く実験値と計算はよく一致している。しかしこの極大値は約900Ωで第3図の定電圧特性が示す如く大

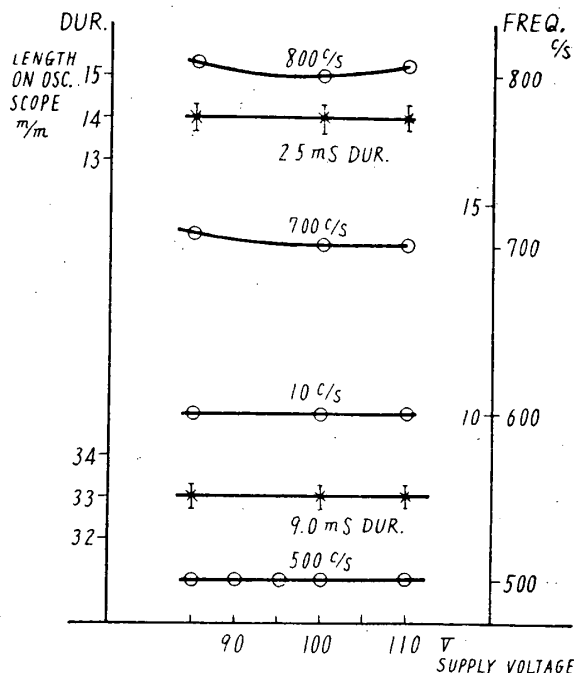
した欠点ではないと思われる。もしこの欠点をさげようすれば波高値の調整を出力管の前でやればよい。しかしこうすると波高値が0にならなかつたり, 又はポテンシオメータの最小値からいくらかまわさないと電圧がでない等という事が起る。之は実験を不正確にし又臨床上では大きな危険(平流が流れる事があるので)を伴うので好ましくない。

同様な事で留意すべき事は最終段の出力管は注意して選び, グリッド電流のなるべく少ないものを用いるべきである。又球によると格子に相当大きな負電圧を与えても陽極電流が cut しないものがあり, 之を用いるパルス間に平流が流れる事になり実験があいまいになる。普通これは Brawn oscilloscope による波形の観測では発見できないので直接直流のマイクロアンメータを入れてたしかめる必要がある。

(F) 電源電圧に対する安定性

周波数パルス巾等を変数とする実験及び治療の場合その安定性は Stimulator として重要な問題である。我々の Stimulator は B 電源が電子管を用いて regulate しているので主に heater supply よりくる

DEVIATION BY SUPPLY VOLTAGE ABOUT UNIVERSAL STIMULATOR B-SUPPLY IS STABILIZED



第8図 電源電圧変動による周波数及びパルス巾の変化

影響が問題になる。第8図に電源電圧を85Vより110Vまで変動させた時の周波及びパルス巾の変化を示してあるが実用的な意味で充分の安定性をもつものといつてよいと思う。

II 電気睡眠器

電気刺戟を治療に用いる事は古くから行われその効果のある事は一般に認められているがその作用のメカニズムに就ては定説が確立していないようである。そして用いられる周波数も平流(直流)から低周波・高周波に及び、その波形は千差万別各々その特徴を誇っているような状態である。生体に通ずる電流の大きさも電撃療法といわれる殆ど感電状態のものから極く微弱の無痛刺戟までである。



第9図 ソヴェトユニオン (1955 7月号より)
(一連の神経精神病に電気睡眠療法が成功的に適用されている。写真はソ同盟保健省の精神病研究所の科学指導者ソ同盟科学アカデミー正会員ヴェ・ア・ギリヤロフスキーと医学アカデミー候補ゼ・ア・キリーロヴァが電気刺戟の作用で眠っている病人を見守っている。)

我々がヒントを得たソヴェトの「電気睡眠療法」なるものはソビエト医学に大きな役割を演じているパヴロフの中枢神経の生理学に根拠を置いている。パヴロフの学説によるとリズムカルな刺戟(単調な雑音、光の明滅、揺する事など)に際し脳半球の皮質の神経細胞に“制止”があらわれ、この制止が次いで睡眠に移行する。このリズムカルな刺戟として、低周波の、余り電圧の高くない、短いインパルスを採用したものが電気睡眠療法である。鉛板を布で包んだ電極を生理的食塩水に浸し眼蓋と頸部に置いて電流を通すと次第に眠り込んでしまう。睡つたら電流を切る。その後は自然の正常睡眠といってよい。大抵の場合2~30分電流をかけると1時間半~2時間の自然睡眠が続く。1日2~3回行って16~20回をもって1クールとしている。面白いのは何回かの後には電極を装着した丈で睡ってしまう人もある事である。之は条件反射睡眠といい我々の場合にも音丈で同じ様な事が起っている。結局電気睡眠療法とは従来の睡眠療法(薬物を用い又は他の刺戟

を用いる)と電気刺戟療法の結合したもので、その効果は睡眠療法の効果と同じく、神経症、神経衰弱ヒステリー、精神衰弱、脳炎、外傷による反射性衰弱、高血圧症、胃潰瘍及び十二指腸潰瘍等に相当な効果を修めているという。

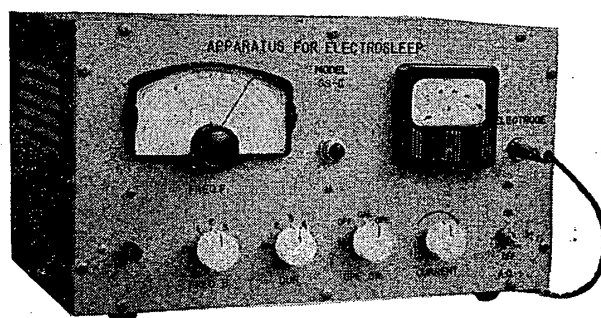
“電気”睡眠療法の優れた点をあげれば

- (1)全く毒性がない事。自然の正常な睡眠に極めて近い睡眠状態が得られる事
- (2)一般的状態が良くなる事。爽快な気分となり活気を感じ安ん静感が得られる。
- (3)頭痛等が消失し、夜間の睡眠が正常に行われる
- (4)加療方法は全く苦痛を伴わず、極めて容易である等であるという。

そして使われているのが周波数1~30~, パルス巾0.2~0.3 mS, 波高電流値5 mA程度の矩形波インパルスである事から、我々の試作した Universal Stimulator が充分この目的に使用しうる事がわかった。

そこで我々は電気睡眠療法専用用いるStimulatorの試作を計画しソヴェトの実例等を参考にしたが各種の点に於て独自の設計が必要であった。次にその概略をのべる事にする。

(A) 試作装置の概要



第10図 電気催眠器

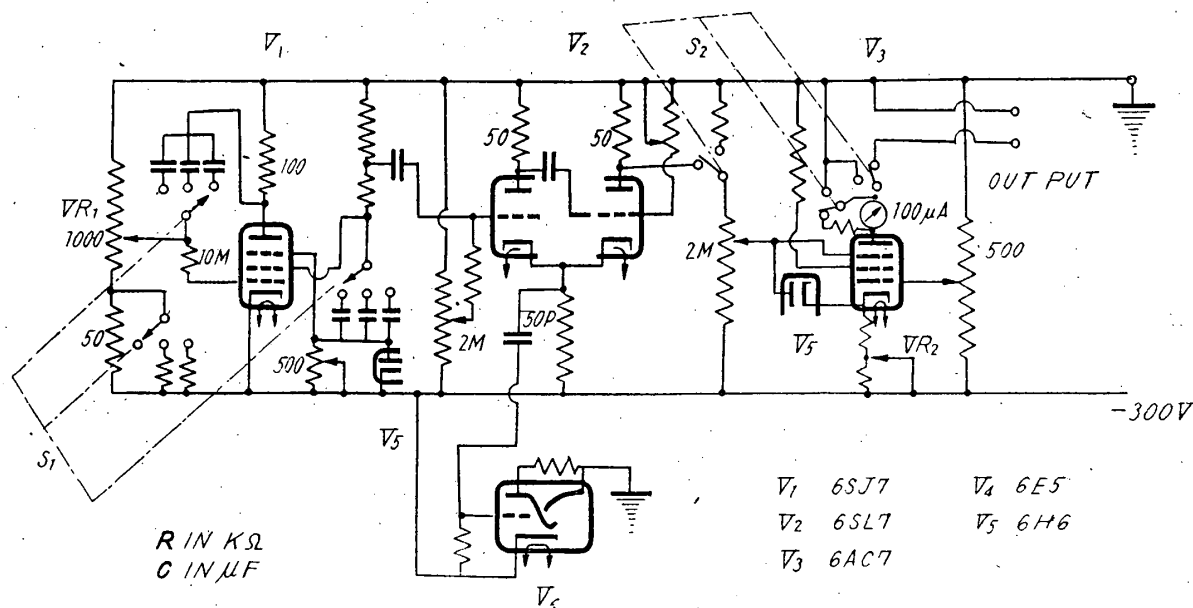
第10図は試作せる電気催眠器 SS-II型である。

周波数は1~100~, 3段切換各段微細調整である。周波数は各人に最も快いところがあり、それが一定でないらしい。ソヴェトの例では10~近辺であるが我国でも更に研究する余地があるので充分広くとつてあるが大体脳波のα波の周波数に関連がある様に思われる。

パルス巾は0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 mSの5段である。出力電流は0~10 mA 定電流型である。このことは特に人体に適用する場合、その抵抗は、電極の接触の程度、生理的食塩水の蒸発等により大きく変化するので、予め set した波高電流値に長時間保つためには是非必要と思われる。たとえ電極が短絡しても一定電流以上流れない様になっている。

パルス極性は負であり普通後頭部を接地し、眼窩部電極に負のインパルスを加える。

CIRCUIT DIAGRAM
OF APPARATUS FOR ELECTRO-SLEEP



第11図 電気催眠器回路図

(B) 回路構成及び動作

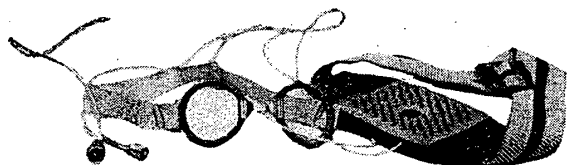
第11図に回路図を示す。

V₁が発振器、V₂が Univibrator、V₃が出力真空管で電極は出力管 V₃の陽極回路に接続される。切換スイッチ S₂を calibration の位置に置く時は人体接触電極は出力管より切はなされマイクロアンメーターに並列抵抗が入り、VR₂を調整する事により出すべき出力電流波高値にメーターをあわせる。次に S₂を Oscillation の位置に置けば電極は出力管陽極に接続し之にパルス電流が流れ、マイクロメーターは平均電流を示す。V₆はマジックアイで発振の状態を監視するものである。数人同時施療の場合を考えるとスピーカーによる監視はできない。耳孔式の小型クリスタル・スピーカーなら使用できる。或は又之丈で音による条件反射睡眠の実施も可能である。

パルス巾をある一定値に固定する場合には適当なトランスを設計すれば V₁及び V₂一つの Blocking Oscillatorで置きかえる事も可能である。その方が一層経済的である。

(C) 人体接触電極

ELECTRODE



第12図 指触電極

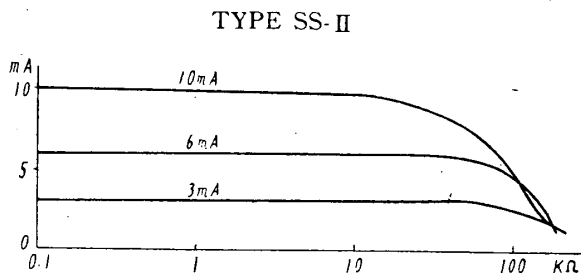
電極は第12図に示す如く後頭部と眼窩部に分れている。後頭部に接するものは約100個の金属突起を弾力

のあるベース上にならべたもので毛髪をわけて皮膚との接触を良くする様に作られて居り、中央の穴より生理的食塩水を補給する。

眼窩部に接する電極は可撓性の金属で作った眼鏡の枠状をなして居り同様に良好な接触を保つ様になっている。両電極間の抵抗は普通数 KΩ~10KΩ の程度である。

(D) 出力特性

人体抵抗(電極間)の変化による電流波高値の変化は第13図の様になる。之よりこの回路による定電流特



第13図 定電流特性(SS-II型)

性は充分満足なものであり安全な通電を保障すると考えてもよいであろう。尚この外に10mA以上の電流で動作する電流制限器を付加して安全性を高めている。

(E) 臨床実験

電気刺激そのもの、治療効果を目的とする低周波治療は行われているが電気催眠器の催眠効果に就ては我が国では未だその例がない。

幸い東大医学部田坂内科教室に於ては、かねてから電気睡眠療法の本メカニズムに就て興味を持たれ、独自

第14図 ELECTRO-SLEEP の臨床実験

実験	東大田坂内科教室に依頼	
目的	STIMULATOR の催眠作用の効果判定 A.有効か否か. B. 有効なれば如何なる条件がよいか	
対称	神経症・高血圧症他の患者について不眠を主訴とするもの及び然らざるもの	
方法	主に夜 環境を一定にし 30~90分 FREQ. 1~100 c/s DUR. 0.1~1 mS PULSE HEIGHT REIZ なき最大	
結果	1	催眠効果がある 10~20分で眠気, 10~40分(早くは5分) で鼾声を発する
	2	施療中眠れぬ場合も施療後眠れた例屢々あり 通電後頭が軽くなる(全例)
	3	睡眠の最適刺激条件は目下実験継続中である. 個人差あるも各 FREQ 各 DUR. に睡眠域があるらしい EREQ 小 DUR. 0.1~0.3 mS の時自然睡眠に近い. EREQ. 大, DUR. 長い時 眠るまでの時間が短い眠れぬ時は頭重感あり

第15回 催眠効果の実験例集計

東大田坂内科教室

FREQ c/s	1	5	10	20	30	50	100	計	
判定	卅	3				1	2	1	7
	++	2	1	1		1	1	1	7
	+	2				1		1	4
	-	1			1	3			5
計	8	1	1	1	6	3	3	23	

判定基準	卅	熟 眠
	++	仮眠 (鼾あり)
	+	眠気あるも眠らず
	-	眠 気 な し

脳波による効果の判定を依頼中である

の立場より其を検討されんとしておられた事を機とし、我々の試作した電気催眠器の臨床実験をお願いした。第14図及び第15図はその準備実験の一部を示すものである。現在改良した装置により実験を継続中である。

結 び

以上我々の試作した Universal Stimulator 及びその応用である試作電気催眠器の性能及び特長の概要に

$$(卅) \& (++) \frac{14}{23} \quad (+) \frac{4}{23} \quad (-) \frac{5}{23}$$

就いて述べた。本稿を草する当り種々なる御指導を賜った東大田坂教授及び御援助を頂いた田坂教室員の方々及び文献の翻訳其他御援助下さった益子正教、益子義教両博士に謝意を表す。

文 献

- (1) I. A. D. Lewis: Elec. Engng., 22 66 (1950—2)
- (2) V. A. Gilyarovskiy: Electrosleep (in Russian)



☆人口問題

昨年の国勢調査で、日本の総人口は 89,269,278 人で、前回より 6,069,641 人の増加ということがわかった。その中で東京都の人口は 8,033,529 人で、総人口の約一割を占め、ニューヨークの 1,500万、ロンドンの 833 万に次いで世界の三大都市に加わった。そして東京の次が大阪の 254万、名古屋の 134万、京都の 120万、横浜の 114万、神戸の 97万の順で日本には 100万以上の都市が五つもできたわけがアメリカと共に世界の都市国になった。なお、日本では、全国人口の 4分の3 が都市に集中しているそうである。しかもこの大部分が農村からの移住だそうである。

☆ボディ・ビル

ボディ・ビルとは、人間の体型まで変えてしまおうという健康法の一つだとのことで、流行語になっている。昨年12月10日の読売新聞には、「ボディ・ビル時代

の流行色はついに国会にも及んできた。9日の自民、社会両党の院内控室には『民族の体格改良運動ののろし、ボディ・ビル協会創立』という、まことに勇ましい筋肉美的な文句のポスターがはり出され、人目をひいた」とあった。なかなかお盛んなことである。慈恵医大の杉本良一教授はボディ・ビルについて「心臓の鍛練や呼吸器の強化という面には、あまり寄与しないのではないか、見かけはりっぱだが、持久力がないというようなウドの大木になってしまわないよう注意が必要ではないか」と言っていた。

だがこの医師の忠言は、ボディビルに限らずあらゆる流行スポーツにあてはまる。有名なスポーツ人たちの最後が必ずしも健康的に幸福でなかった幾つかの例は、この事実を裏書している。

スポーツは、とかく過度にわたりやすい。将来のために備えなければならぬ若い人たちのエネルギーを惜しみなく奪い去り、真剣な人生の戦いに立向かう意欲をさえ失わせてしまう。むしろ、定時的散歩とか、その他の有用な勤労作業こそ、勧めたい最良の健康法であろうと深く考えさせられる。女性の Xラインや Yラインに、Vラインを今一つ加えたというような一種の流行であるところに、ボディ・ビルに対する一点の不安を感じる。