Original Article

Modern Trends and Problems in Future on Low Frequency Electrotherapy in Japan

by

Masataka TATEIWA, M.D.

from

Department of Orthopedic Surgery, University of Chiba School of Medicine

Abstract

1) Statistics of electrotherapies in Japan (1961-1966) : Questionnaires concerning on clinical application of low frequency electrotherapy were sent to 142 big clinics in all over the Japan. Answers were obtained from 70 clinics. The total number of the cases was 8973 who were treated for past five years.

It is clarified from the analysis of this questionnaires and answers that low frequency electrotherapy have been applied in many clinics by following the basis of neuro-physiological principles and some improvements were noticed on 56.4% of 8858 cases.

2) Statistics of electrotherapy in our clinic during past five years :

The principle in the treatment of the nervous system in our clinic were as follows :

a) The diseases in the muscle and peripheral nerve fibers : They will be treated by the third effect of polarization.

b) The disease in neuro-muscular junction :

It will be treated by the post-tetanic potentiation on neuro-muscular junction.

c) The disease in the spinal synapses :

It will be treated by two theoretical bases ; firstly post-tetanic potentiation on spinal mono-synaptic reflex and secondly the third effect of spinal polarization on the reflex action.

3) Therapeutic application of low frequency current on progressive muscular dystrophy :

Recent advancement in electrotherapy on progressive muscular dystrophy in our clinic was reported in the view point of electromyography and biochemistry. The best result was gained by the administration of post-tetanic potentiation on the spinal mono-synaptic pathway.

4) Several problems in future :

The size and shape of electrode, wave-form, amplitude modulation, frequency modulation, telemetry, mechanical vibration, electrical narcosis, and heart and bladder stimulation with pace maker and so on were discussed.

低周波療法の現状と将来

立 岩 正 孝*

はじめに

第6回低周波医学会において「外科・整形外科領域における低周波電流医療」という題の下に特別講演を担当し、全国統計ならびに教室における電流治療症例の疾患別統計、ならびに治療の原理を御報告¹⁾して以来、5年の歳月が流れました。

今日、再び、低周波療法の現状を把握するとともに、この5年間ににおける進歩と退歩を明らかにし、また、宇宙工学とともに飛躍的に進歩するElectronicsの発展にともない今後いかなる新しい治療法が可能となるのか、それに対して、われわれは、いかなる努力をなすべきか、また、解決すべき問題点は何であるか、について発表したいと思います。

I. 低周波療法に関する全国統計

統計の基礎となったアンケートは表1のごときもので、昭和37年から41年度までの統計です。アンケートに対する回答(表2)は、アンケート郵送数46大学・63病院、計142診療科に対して70診療科であり、回答率は大学57%、病院38%、診療科49%となっています。その全国分布は図1のごとくです。

本統計の資料を提供された機関は表3に示す通りであり、この誌上をかりて、御協力下された各位の御厚情に深謝いたします。

1. 低周波電流治療施行状況(図2)

低周波治療施行機関は45病院・56診療科であ

表1 アンケート(昭和37, 38, 39, 40, 41年度の統計)

- 1) 低周波電流治療施行状況
- 2) 未施行の理由
- 3) 施行の理論的根拠
- 4) 使用器械
- 5) 疾患名
- 6) 症例数
- 7) 波型(直角波・正弦波・棘状波・針状波・梯形波・直流)
- 8) 治療導子の場所
- 9) 治療導子の極性(十または一)
- 10) 通流強度(mA・V.)
- 11) 周波数(c/s)
- 12) 時間(min.)
- 13) 治療回数(週何回・計何回)
- 14) 効果(著効・有効・無効・判定不能)
- 15) 併用療法

表2 アンケートに対する回答

アンケート郵送数	
46 大学	} 計 142 診療科
63 病院	
アンケート回答数	
26 大学	} 計 70 診療科
22 病院	
回答率	
大 学	57%
病 院	35%
診療科	49%

り、無施行機関は10病院・14診療科です。無施行科は内科、脳神経外科、耳鼻科、小児科に多くなっています。

2. 無施行の理由

低周波治療を施行しない14診療科についてみると、専門の物療科へまわすという所もありますが、低周波治療の方法を知らないという所があ

* 立岩整形外科病院院長

表 3 本統計の資料を提供された機関

I. 低周波治療施行機関 (45 病院・56 診療科) 一順不同一

北大	整形外科	九大温研	内科
弘前大	整形外科		外科
岩手医大	整形外科	長崎大学	整形外科
	内科	鹿児島大	物療科
東大	物療科	新潟労災病院	物療科
	分院整形	日鉦中央病院	整形外科
	外科	上都賀病院	整形外科
	物療内科	石和温泉病院	物療科
東京医歯大	整形外科	佐原病院	整形外科
慶応大	整形外科	千葉労災病院	整形外科
順天大	整形外科		物療科
	物療科	川鉄病院	整形外科
日大	整形外科	国立下志津病院	整形外科
昭和大	整形外科	船橋中央病院	整形外科
横浜市大	整形外科	関東労災病院	整形外科
金沢大	整形外科	国立横浜病院	内科
名古屋大	整形外科	沼津市立病院	整形外科
名古屋市大	整形外科	国立伊東温泉病院	物療科
	物療科	国立甲府病院	整形外科
京都府立大	整形外科	国立熱海病院	内科
和歌山医大	外科		外科
大阪大	整形外科		整形外科
	物療科	清水厚生病院	整形外科
大阪市大	整形外科	福井県立病院	整形外科
関西医大	整形外科		物療科
鳥取大	整形外科	大阪労災	物療科
広島大	整形外科	厚生年金玉造整形	整形外科
九大	整形外科	大阪厚生年金	整形外科
		大阪市交通局病院	眼科

II. 低周波治療無施行機関 (10 病院・14 診療科) 一順不同一

北大	脳神経外科
東大	神経内科・吉利内科・上田内科
新潟大	神経内科
京都大	耳鼻科
京都府大	耳鼻科
大阪大	第二内科
関西医大	第一内科
岡山大	小児科
九大	第二内科・神経内科
旭川整肢療院	整形外科・物療科

り、さらに啓蒙運動を行なう必要を認めます。

3. 理論的根拠 (図 4)

施行している 56 診療科においては、電流の刺激作用、第 3 作用・Post-tetanic Potentiation という効果を期待しているのが大半であり、5 年前よりも、理論的に治療を行なう努力が払われているようです。

なお、少数意見として、

○分極作用による刺激作用

図 1 本統計の資料を提供された機関

図 2 低周波治療各診療科別施行状況 (26 大学・22 病院・70 診療科)

図 3 低周波治療無施行の理由 (14 診療科)

○界面動電現象 { 電気浸透 { 陰極に膨潤 (鎮痛)
陽極に脱水
電解透析 体液内コロイドと電解質
に対する作用 (偏在是正)

図4 低周波治療施行の理論的根拠 (56診療科)

- 拮抗筋通電による抑制作用
(主として痙直型脳性麻痺の症例)
- 筋力減弱筋に対する強化；先天性内反足ギプス装着
肢・無為性萎縮・尖足・外反足・X脚・O脚・反
張膝等
- 拘縮予防のための拮抗筋通電

等があげられています。

なお、奈良医大・堀浩教授の御意見は一面のポイントをつかんでいるので、ここにあげて世評の対象としてみたいと思います。

「臨床家として、多くの患者を概観すると、要は、神経・筋に生理現象に近い(動作流類似)電場変化を生ぜしめれば効くという症例が多いよう

です。もちろん、完全麻痺や Sedative 効果のごとく、これでは解決つかぬものもあります。動作流的電場変化を生ぜしめるためには、電流刺激のいかなる作用が、これを行なうのか一概に申せませんが、動作流類似の電量変化が効率よろしかろうと思います。そうすると、むしろ「低周波」という刺激間隔自体が重要であるという考えに帰しましょう。電流または電流変化の刺激作用が、低周波治療の主体であり、高度に麻痺した神経・筋に対しては、Post-tetanic Potentiation 効果があり、また、自律神経系に対する不明の作用もあり得ます。電流の第3作用は、主として鎮痛患者に対するものでしょう。

死んではないが、機能はまったく廃絶している、という生体の刺激には、また別の理論が必要

表4 使用器械 (56診療科につき)

Augospel	39
Multiwellen	10
Kinetyzer	7
Neo Eloile	2
Ectoll	1
Nobel	1
Micron	1
Superlon	1
Sanraese	1
Nipo Heiler	1
Hirschman' Apparat	1
自作による低周波発生装置	1

a. 昭和37-41年度
(45病院・56診療科の回答、総数8858症例)

b. 1955-1961
(9535 Fälle aus 32 Krankenhäusern)

図5 低周波治療症例の疾患別概数

と思います」

4. 使用器械

表4のごとくであり、Augospel Multiwellenが多くなっています。

5. 疾患別症例数

45病院・56診療科の回答による総症例数は8973例であり、内訳は図5に示す通りです。これを、昭和30年から36年までの統計と比較してみると(昭和30年から36年までの統計はElektromedizin 8巻²⁾に発表したものを転載したのでドイツ語を使用しています)、脊髄麻痺が激減しており、これは、ポリオの減少と期を一にするものと思います。なお、末梢神経麻痺、顔面神経麻痺症例は増加していることがわかります。

その他115症例の内容は図6のごとくであり、眼科疾患とくに、近視の症例が多くなっています。以後の統計は、その他の115症例を除いた8858症例について行なっています。

6. 治療電流波型の疾患別使用概数(図7)

治療波型としては、直角波を使用するものが圧倒的に多くなっています。神経興奮が悉無律に由来するゆえ、いちばん経済的な波型として使用されているものと思います。低周直角波電流治療の理論は、鈴木正夫名誉教授、五百住博士を先達として、今まで多くの実験・臨床成績³⁾が発表されています。

なお、梯形波・棘状波がややふえてきているのは、近年、両波の理論的価値の再検討がおこなわ

図6 特殊疾患に対する低周波治療症例
(昭和37-41年度、6診療科の回答、115症例)

れていることに由来すると思われます。

7. 治療導子の場所の疾患別使用概数(図8)

前回の統計と同様に、中枢性麻痺には頭部通電・脊髄通電が使用されていますが、その他においては、局所通電が主体をなしています。

8. 治療導子の極性の疾患別使用概数(図9)

前回の統計においては、鈴木正夫名誉教授の通流第三作用という理論にもとづいて、麻痺性疾患には陽極を用い、閾値の低下をはかり、疼痛性疾患には陰極を用いて鎮静的効果をねらうという診療科が多かったのですが、今回の統計においては、麻痺性疾患に対して陰極使用例が多く、疼痛

a.

b.

図7 治療電流波型の疾患別使用概数

a.

b.

図 8 治療導子の場所の疾患別使用概数

a.

b.

図 9 治療導子の極性の疾患別使用概数

性疾患において陽極使用例が多くなっておりま
す。これは単に刺激作用のみをねらっているとみ
るよりも、むしろ、極性の選択に際して、混乱が
おこっているのか、または、医師の指導性が悪く、
電流治療を等閑に付そうとする傾向をもってきた
ものと思われ、治療態度について自戒する必要を
示唆するものと思います。

9. 電流強度の疾患別使用概数 (図 10)

前回の統計においては 10 mA 以上という強度
の強いものがしばしば使用されていたが、今回の
統計では、高々 7 mA 位までの電流強度を上限
としています。前回の統計では、効果がないと、
どんどん強度をあげて行く治療方法を採用してい
る診療科が多かったのですが、7 mA 位を上限に
するようになってきたのは、完全な Waller 変性
に対しては電流治療に限界があることが認識され

図 10 通流強度 (mA) の疾患別使用法

図 11 通流周波数 (c/s) の疾患別概数

たものと思われます。

10. 通流周波数の疾患別概数 (図 11)

麻痺性疾患には低サイクルを、中枢性麻痺ならびに疼痛性疾患に対しては高サイクルが使用されており、前回統計と同様の傾向です。

11. 通流時間の疾患別使用概数 (図 12)

前回は、20分以上、最高60分という長い通流

を行っていた例が相当にありましたが、今回のものでは、10分から20分という所に大体まとまっています。

一つには、電流治療の限界を知り、重症例に用いなくなってきたこと、他には、低い医療保険点数のために、多くの患者をさばく必要があること等が、この原因と思われます。

a.

b.

図 12 通流時間 (分) の疾患別使用概数

a.

(総数 56 診療科)

b.

(aus 32 Krankenhäusern)

* Yagostigmin, Galanthamin, VB₁, ATP

図 13 併用療法施行病院数

前回指摘したとおり、現行保険制度における電流治療の低い医療点数を打破するためには、理論通りの通流を行ない、その正しい効果を求め、その成績を強調することが必要と思われます。適正な姿で、適正な電流治療を行なうことが必要であり、その統計をもって、従って適正な点数が判定されるように努力することが、次の世代のためにも必要と存じます。

12. 併用療法施行病院数 (図 13)

電流治療は万能でなく、他に有効なる手段と併用して、さらに治療効果を期待しうるものです。岩手医大整形外科・猪狩忠教授は、「低周波の単独治療例はない。すべて手術を要するものは手術を施行し、また、薬物療法、牽引療法、整形外科的機能訓練等も併用している。従って、低周波による治療効果を表現することは困難と思われる」

a.
(総数 8858)

b.
(6331 Fälle aus 16 Krankenhäusern)

図 14 低周波治療効果の疾患別概数

と書いてきておられます。

13. 低周波治療効果の疾患別概数 (図 14)

電流治療は併用療法が多いので、単独の効果であるのかどうか判定が難しく、また、徐々に回復する神経麻痺などにおいては、本当に電流治療の効果なのか、あるいは、自然治癒なのか、判定は難しい。治療成績の判定には、同一部位に、同一程度の麻痺があり、発症よりの治療期間が同一であるような症例を選び、薬剤の Placebo 試験のごとき方法を用いるのが厳格ですが、治癒能力に個体差もあることであり、また、実際に麻痺症例を前にしては、実験的立場もとりにくく、動物実験において原理的に有効と判定されたものは、皆、応用しているのが実情と思います。

ともかく、低周波治療を含めた理学療法ということで、何らかの改善が認められたものが 8858 例中 56.4% に存在しています。これは、意味がある数字と考えます。

なお、近視に対する治療成績 (図 15) は、大阪市交通局病院眼科の松下和夫博士の長年の御研究成果によるものですが、3~5 mA 1000 c/s の陰極通流により 77.7% に治療効果を認めており、特に学童期近視に、簡単で強力な治療方法を確立されたことは、特筆に値するものです。

顔面神経麻痺における 極性別治療成績 (図 16) をみると、従来、鈴木教授の第三作用という観点から、陽極通流が使用されており、陰極通流との比率をみると 8 倍も多くなっています。臨床成績という点では、著効、有効例が陽極通流で 93.3%、陰極通流で 71.2% であり、前者の方が良い成績ですが、後者においても有効例が多くなっているということから推察すると、原理的に、極性作用のみならず、刺激作用も大きな要素もっていることが判ります。末梢神経麻痺 (図 17) についてみ

図 15 近視に対する治療成績
(大阪市交通局病院眼科)

図 16 顔面神経麻痺における極性別治療成績

図 17 末梢神経麻痺における極性別治療成績 (顔面神経麻痺を除く)

ても、陽極通流で88.8%，陰極通流で76.4%と同様な傾向を示しております。

II. 教室における電流治療症例の疾患別統計

昭和30年1月から昭和41年12月に至る治療症例は1727例にのぼり、内訳は図18に示す如くです。

当教室における低周波治療の原則(図19)は、長年にわたる動物実験と、誘発筋電図法を用いた患者症例の検討により確立されたものです。

(1) 局所通流(通流第3作用)

関導子を、神経筋刺激点の上におき、不関導子は麻痺筋上、または、疼痛部位におきます。神経の閾値は、陽極通流により低下し、陰極通流により上昇しますので、麻痺症例には、陽極通流を、痛性疾患には、陰極通流を使用します。条件は、15 c/s・3~7 mA・10~20分が最良です。この根拠については、参考論文¹⁾を参照して下さい。

図 18 当教室における低周波治療症例の疾患別統計(昭和30年1月~41年12月、総数1727例)

(2) 脊髄通流(通流第3作用)⁴⁾⁵⁾

関導子を罹患節節上に不関導子を罹患筋上におきます。陽極通流 1000 c/s・5~8 mA・10~20分の条件が最適です。椎弓切除術を行っていない症例には、脊髄に対し有効なる電気緊張を及ぼすことがむずかしいので、最近では、使用対象症例が減少しています。

(3) 脊髄強化通流(Post-tetanic Potentiation)⁶⁾⁷⁾

関導子を、神経筋刺激点上におき、不関導子は麻痺筋上におきます。陰極通流で 250 c/s・3~7

図 19 当教室における低周波治療の原則

mA・10～20分が最良です。これは閾値の低い求心性神経を利用し、脊髓へ刺激を送り込む方式です。

このような原則にもとづいて、昭和37年1月から、昭和41年12月までに低周波通流を行なった患者(図20)のうち、完全に追跡調査のできた144例について、全国統計に準じて検討してみます。なお、使用器械は Augospel であり、波型は直角脈波です。

治療導子の場所としては、中枢性麻痺には脊髓通流を、脊髓麻痺と筋性疾患には、脊髓強化通流を、その他には、局所通流を用いています。

1. 治療導子の極性の疾患別使用概数(図21)

中枢性麻痺・末梢性麻痺には陽極を、その他には、陰極を使用しています。

図21 治療導子の極性の疾患別使用概数 (144例)

2. 通流周波数(c/s)の疾患別概数(図22)

100 c/s を中心として分けてみると、末梢神経麻痺には、100 c/s 以下を、その他には 100 c/s 以上を使用しています。

3. 平均電流治療回数の疾患別使用概数(図23)

いずれも、50回以下が大半をしめていますが、平均治療回数は、医師の処方によるよりも、むしろ、治療による回復程度を患者自身が判断し、決定されることが多いようです。すなわち、眼に見えて癒えるようなら、つづけて治療に通ってくるし、回復傾向がはかばかしくないと、処方しても、通院しなくなるようです。脊髓麻痺・顔面神経麻痺・外傷後遺症のごとく、150回以上つづけて

図20 調査対象(昭和37年1月～41年12月、総数144例)

図22 通流周波数(c/s)の疾患別概数 (144例)

てきている症例が多いものは、また、ある程度、治療効果があがっているともいえます。

4. 電流治療効果の疾患別概数

図24に示すごとく、全例の62%に何らかの効果が見とめられます。

以上、極めて簡単に当科の成績をみてみましたが、低周波電流の診断的応用・治療の原理、とくに局所通流の極性・周波数の問題、ならびに、脊髓通流、脊髓強化通流の原理については、前回に詳述してあるので、興味のある方は「低周波医学」6巻、11-36頁(1963)を御参照下さい。

図 23 平均電流治療回数の疾患別使用概数 (144 例)

図 24 電流治療効果の疾患別概数 (144 例)

III. 進行性筋ジストロフィー症に対する低周波療法について⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾

次に、最近試みましたが進行性筋ジストロフィー症に対する低周波療法について、当科の成績を御報告いたします。症例は、国立下志津病院に入院中の 44 例の Duchenne type の症例を用いています。

1. 低周波局所通流効果

局所通流効果をみるべく、神経・筋刺激点に陽極通流 15 c/s・30 分・14 日を施行した 5 症例を表 5 に示しますと、静止膜電位・筋電図・筋力テストとも有効であった例は 1 例もありません。

静止膜電位の実測値は、図 25 に示す通りです。1 症例について、多くのプロットがなされているのは、測定点・測定回数に応じているからです。

2. 脊髄強化通流 (Post-tetanic Potentiation) の治療効果

陰極通流 25 c/s・30 秒・30 日投与の結果、10 例に関する治療成績は表 6 のごとくです。

表 5 低周波通流の治療効果
低周波通流 15 c/s, 30 min, 14 日

症 例	10	12	13	14	15
静止膜電位	—	+	—	—	—
E.M.G	—	+	—	+	+
筋力テスト	—	—	—	—	+
大腿周径	—	—	—	—	+
下腿周径	—	—	—	—	+

運動ニューロン・プール活動曲線 (Discharge-Subliminal Fringe-Curve) についてみますと、検査した 8 例中 7 例に、閾下縁 Subliminal Fringe Zone の拡大を認めました。図 26 は ADL 5°・10 歳の症例の実例です。なお、発射帯に対する閾下縁の拡がりの比をとってみますと、表 7 に示すごとく、いずれも著明な増大を示しており、特に、その効果は、ADL の低いものにおいて著しいことが判ります。

H 波回復曲線についてみると、検査 8 例中 4 例に、回復時間の短縮と、過正常期 Supernormality の増大が認められました。図 27 に示した実例は、12 歳・ADL 3° の症例であり、脊髄強化通流直後著しい回復過程の改善が認められました。

筋電図においては、10 例中 8 例において、振幅の増大、放電頻度の増多を認めました。実例は図 28 に示すごとくです。

自発筋電図、ならびに誘発筋電図学的効果は上記の通りですが、筋力テスト・下肢周径計測においても、有意の差が生じました。

次に、このような、強化通流により、かえって、筋肉の破壊・変性が進行するかどうかを調査するべく、同時に Creative Phosphokinase (C PK) の変動を検討しましたが、著しい増大を示した症例はありませんでした (図 29)。

なお、治療後、患児の自覚症状の変化を調査し

表 6 進行性筋ジストロフィー症に対する脊髓強化
通流 (Post-tetanic Potentiation) の治療効果
(Tetanization 250 c/s, 30 秒, 30 日)

症例 No.	1	3	4	5	6	8	11	12	13	14
D-S Curve	+	+	+	+	+	-	-	+	+	
Recovery Curve	+	-	+	-	+	+		-	-	
E.M.G.	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-
筋力テスト	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
大腿周径	-	-	+	+	-	+	+	+	-	-
下腿周径	-	-	-	+	-	+	+	-	+	-

表 7 発射帯に対する閾下縁の広がり
(Tetanization 250 c/s, 30 sec, 30 日)

症 例	障 害 度	P.T.P 前	P.T.P 後
1	1	20.4	22.6
2	2	30.8	70.6
4	2	8.2	28.8
5	2	2.9	213.9
6	3	49.2	60.2
8	5	61.7	76.7
12	6	86.3	15.7
13	6	28.9	33.9
平 均		38.5	65.3

図 25 低周波通流前後の静止膜電位 (低周波通流
(15 c/s, 30 min, 14 日))

ますと、表 8 のごとく、脊髓強化通流において、
何らかの改善を訴える症例が多くみとめられまし
た。

以上の検査成績よりみる時、脊髓強化通流は、
進行性筋ジストロフィー症に対して、特にその低
下した脊髓機能を回復させる点において、有用な
手段と思います。

進行性筋ジストロフィー症の本態の解明につい
ては、私共の他の論文⁹⁾¹¹⁾を御参照いただきたい

図 26 運動 Neurone-Pool 活動曲線 (Tetaniza-
tion 250 c/s, 30 sec, 30 日, ADL 5°, 10 歳,
男)

図 27 H 波回復曲線 (進行性筋ジストロフィー症)
症例 No.6, 12 歳, 男 (Tetanization 250 c/s, 30 秒,
30 日)

Before After
図 28 PTP 治療前後の EMG 変化

図 29 PTP 治療前後の CPK 変動

表 8 治療後自覚症状の変化

	P.T.P	低周波 通流	Galanth- amine	Aspara- K
足が軽くなった	6	1	0	0
足に力がついて きた	4	1	0	0
歩行移動が早く なった	6	1	1	0
疲労感が減少し てきた	3	1	1	1
足が温くなった	1	1	0	0
不変	3	4	1	4
疲労感がました	0	0	1	0

と思いますが、脊髄機能の低下については、すでに実証したごとく廃用性萎縮の要素が強く、これがまた、Circulus vitiosus となって筋萎縮を強くさせており、この Kette を断つ意味において、本療法は意味があるものと思います。

IV. 低周波療法の問題点

次に、低周波療法の問題点を項目別にあげ、現状と将来への方向づけを行なってみたいと思います。

1. 神経・筋組織に対するもの

- (1) 通流導子の場所
- (2) 通流導子の大きさ・型

- (3) 通流波型
- (4) 振幅変調の問題
- (5) 周波数変調の問題
- (6) Telemetry
- (7) 機械的強制振動による脊髄反射の抑制と亢進

2. 脳に対するもの

- (1) 頭部通電
- (2) 電気催眠と電気麻酔

3. Pace maker としての低周波電流

- (1) 心臓
- (2) 膀胱

1. 神経・筋組織に対するもの

支配神経を切断された筋肉に、神経再支配がおこるまでの、筋萎縮を、いかに防止するかという点において、導子の場所は問題です。切断神経の神経、筋刺激点においては、電気刺激も無効ですので、直接刺激に期待することになりますが、有効な刺激部位が筋腹のどこであるかということとは、難しい問題です。

閾値の上昇している神経には、その神経・筋刺激点に通流すればよいのですが、問題は麻痺が広い髄節に存在する場合です。1つの筋の神経刺激点を刺激すると、その拮抗筋または反対側の筋に対して Sherrington の相反支配の法則が作用し、反対の効果を起すし、また、多くの神経・筋刺激点を1つ1つ刺激して行くのは、大変なことです。従って、Galanthamine¹³⁾ のごとき、長時間作用のつづく抗コリン・エステラーゼ剤の併用が必要です。

脊髄通電というのも、Idea ですが、私の実験では、椎弓が存在すると 1 msec の直角波では、80 ないし 100 V, 20 mA で初めて、脊髄部に電気緊張電位が起ってきます。この条件では、背筋の強直と同時に、強い疼痛を起します。従って、人間で有効に脊髄に入れるためには、椎弓切除例か、または、micro-circuit を直接、椎弓部に埋没する方法が考えられます。Telemetry の部に示した図 6・7・8 は私の試作器であり、すでに脊髄損傷患者に使用し機能改善にみるべきものがあります。

なお、頭部通電¹⁴⁾¹⁵⁾ もさらに研究・開発すべき余地を残しています。

2) 通流導子の大きさ・型

図 30 今日まで主として使用されてきた波型

神経筋刺激点に通流する際には、1 cm 大の銀電極を用い、電流密度を高くすることがおこなわれていますが、筋肉の直接刺激導子の工夫は、あまりされていません。

蛸の足のような、分岐した針状導子を、直接当該筋に刺入するとか、放射線治療の際の回転照射のごとき方法で、一定の電場エネルギーを送りこむことが、一つの解決方法になるのではないかと思います。

3) 通流波型

神経伝導が悉無律に従うということで、能率のよい直角波を使用していますが、神経の病的状態に対して、いかなる波型が能率的伝導をおこすかという仕事は、いまだなされておられません。最近一部に梯形波、針状波の研究¹⁶⁾が行なわれているので、この解明も間近いものと思われます。今日

Rechteck-Impulse, die mit senkrechtem Anstieg (Anstiegszeit gleich 0) und gleichbleibender Stromstärke in ganz regelmäßigen Abständen das Prinzip der Gleichförmigkeit anschaulich machen

Schemabild des mit dem Wagnerschen Hammer erzeugten Faradischen Stromes, dessen Spitzenausschläge zwar variabel groß, aber in gleichen Abständen und so gleichförmig wie möglich erfolgen

Trapezformen, die Anstiegs- und Abstiegszeiten an die Dreieckimpulse angleichen, aber hinsichtlich der Zeit und der Form das Prinzip der Gleichförmigkeit beibehalten

zeigt Dreieckimpulse des Exponentialstromes mit schrägem Anstieg, so daß sich die Impulse einschleichen können. Aber hinsichtlich der Zeit und der Form bleibt auch diese Reizstromerzeugung gleichförmig

Thyatron-Strom gestaltet die Abstiegszeit kurvenförmig, bleibt aber bei senkrechtem Anstieg (Anstiegszeit = 0) und gleichförmig in Form und Zeit

Folge von Dreieck-Impulsen, die durch Exponentialstrom erzeugt und zur Feststellung der Erregbarkeit des Muskels verwendet werden. Sie sind genau zu messen und vollendet gleichförmig

まで主として使用されてきた波型は図 30 に示す通りです。

なお、Action-current therapy を提唱する H. G. Polster¹⁷⁾ の仕事は、生体にすでに存在する電流、すなわち ECG, EEG, EMG, ENG を記録し、この波型を治療に使用した点で面白いものです。この波型は図 31 に示すごとく、心電図波型に非常に類似しており、カウザルギーの治療に著効があり、節前交感神経切除術 (Preganglionic Sympathectomy) の必要性を減少させたとのことです。

4) 振幅変調の問題

皮膚の痛覚受容器を刺激することなしに、神経に、充分大きい刺激を与えようという目的を達成するために、電流の忍込み・忍び出現象を利用し、振幅変調を行なっているのが普通です。

Schemaisches Bild der Aktionsstromtherapie. Im Aktionsstromgerät werden die aus bioelektrischen Oszillogrammen gewonnenen Behandlungsstromkurven über Photoelemente zur Modulation der endogen erzeugten Reizströme im Kreuzungsbereich der zwei Stromkreise verwendet

Diagramm über die Beziehungen der Behandlungsstromformen zur vegetativen Tonuslage

図 31 H. G. Polster による通流波型

Frequency modulating stimulation

Pulse

Interval recorder

図 32 当教室・山下による周波数変調直角脈波

また、振幅変調は、筋肉の受動的訓練¹⁸⁾においても大切な方法です。この目的に対して、私は 0.5~0.3 c/s の振幅変調を用いています。

5) 周波数変調の問題

生体現象としての電流は、いずれも単一にすると、一定のリズムをもっていますが、総体してみると、周波数変調しているのがしばしばです。

当教室の山下¹⁹⁾は、本間教授の御指導の下に周波数変調の臨床的応用の道を開きつつあります。

時定数

Interval Recorder
による記録

20msec

30msec

5 msec

5 msec

図 33 後根電位 (周波数変調・直角脈波による刺激)

時定数

23msec

40msec

∞

10msec

1 mV
10msec

図 34 前根電位 (閾値下刺激による)

図 32 のとき周波数変調直角脈波を作り、求心神経を刺激すると、図 33 のごとく、後根電位に同期性が認められます。閾値上刺激では、前根電位においても同期性が認められますが、閾値下刺激を行ないますと、変調時定数 ∞ 、すなわち、等間隔の波では刺激とならないような強さの刺激によっても、時定数 23 msec, 40 msec では、前根電位を誘発することが可能でした (図 34)。そのみならず、変調時定数が小さいほど、早い反応時で誘発前根電位を得ることが判りました。すなわち、時間差を利用した一種の忍込み現象として、低周波治療の一つの大きな武器となるものと思います。

6) Telemetry

有効な刺激を、正確に必要とする神経に送りこめるという点と、常時刺激を持続しうるという点

図 35 末梢神経用 Telemetry (発振器と送信器)

図 36 末梢神経用 Telemetry (配線図)

で、Telemetry は開発する必要があると思います。

私の動物実験による成績²⁰⁾²¹⁾では、Neurapraxia Axonotmesis では受傷直後から常に 3 ~ 15 c/s の刺激を投与すると、放置することにより 8 日で変性、消失する終板が、変性せずに温存され、早期に機能回復をうることに成功しています。図 35~37 は末梢神経用、図 38~40 は脊髄損傷用のものです。図 39 のごとく、椎弓切除部に挿

入して使用していますが、患者の神経回復状態には、見るべきものがあります。

7) 機械的強制振動による脊髄反射の抑制と亢進²²⁾²³⁾

当教室・山中の興味ある仕事²⁴⁾²⁵⁾を紹介いたしますと、図 41 のごとく、150 c/s 以上の高頻度の筋紡錘の強制振動により、脊髄単シナプス反射に亢進が認められ、また、150 c/s 以下の低頻度振動により抑制効果が認められるという現象 (図 42)

図 37 末梢神経用 Telemetry (神経に埋没する Micro-circuit)

図 38 脊髄損傷用 Telemetry (Micro-circuit)

図 39 脊髄損傷用 Telemetry (椎弓に埋没した Micro-circuit)

図 40 脊髄損傷用 Telemetry (発振器と送信器)

図 41 Post-Vibratory Enhancement on Spinal Monosynaptic Reflex (Vib : 300 c/s, 5 min)

図 42 Post-Vibratory Depression on Spinal Monosynaptic Reflex (Vib : 50 c/s, 5 min)

です。今日、市販されているバイブレーターは、150 c/s 以下の低頻度振動のものが主ですので、あれを使用すると気持ちがいいというのは、むしろ抑制効果による一種の鎮静作用かとも思われます。

痙性麻痺に対する電流療法の合併療法として、今後、大いに発展する分野と思います (図 43)。

2. 脳に対するもの

とくに電気麻酔²⁶⁾は、1947 年以来、ソ連の Giljarowski, ドイツの Koeppen 等により始められ、今日では、電気麻酔学会が発足し、実用の域まで達しています。当教室・玉置はサンフランシスコ・メディカルセンター麻酔科において、その実用化にとりくんでいます。

図 43 Post-Vibratory Depression and Enhancement (Vib. period : 5 min)

図 44 Situation während der Elektroschlafbehandlung

- A Sicherheitskupplung für Geräteanschluß
- B Sicherheitskupplung für Elektrodenzusammenschluß
- C Nackenelektrode
- D Augenelektrode
- E Fixationsbänder (Klettensbänder)
- e feuchter Gazestreifen

- F Querschnitt durch Elektrode und Maskenkörper
- a Maskenkörper
- b Schlaufen zum Durchziehen der Gazestreifen
- c Schaumgummieinlage
- d feinmaschiges vergoldetes Kupfernetz

図 45 Elektroden mit Patientenanschlußkabel

今日の方法²⁷⁾は、図 44・45 に示す如く、2つの陰極導子を、両側の眼に当て、2つの陽極導子を後頭部に当てるものです。

前麻酔薬を必要としないこと、喉頭痙攣が少ないこと、導入と覚醒がスムーズであり、筋弛緩状態が得やすいこと、等、利点がありますが、気道確保の問題、麻酔深度の判定法等、多くの解決すべき問題点を、いまだ残しています。

3. Pace Maker としての低周波電流

心臓に対しては、門外漢ですので省略させていただきます。ただとして、膀胱用 Micro-circuit は種々研究²⁸⁾²⁹⁾されています。

実物は、千葉大泌尿器科で研究中のもの(図 46)を示しましたが、型、特に導子の数と、置く場所に多くの問題が残されています。記録(図 47)はアメリカでの動物実験であり、膀胱内圧という点では、充分な成果をあげていますが、なお残尿があり、完全なる排尿に果す腹腔内圧の上昇、腹筋群・横隔膜等の役割りについても、研究の余地が大いに残されています。特に、高位脊髄損傷例の尿路管理は、リハビリテーション医学の今日直面する大きな問題点です。

急いで問題点を概観しましたので、甚だ雑駁な

図 46 膀胱用 micro-circuit (千葉大学泌尿器科提供)

ものとなりましたが、低周波治療の前途は洋々たるものがあり、また、大いに研究されるべき余地が残されています。

最後に、今後の発展の鍵をにぎる大切な経済問題について、一言、触れたいと思います。

多くの熱心な研究者により、低周波治療の正しい方法と適応が判明しつつあります。多くの症例に適応があり、実際、本稿に発表したごとく、多用されているが、保険診療報酬という点において報いられることがすくないことが、今一つ、本療法の発展を阻害する因子だと思います。ちなみに、点数をあげてみますと、

甲表 0点

第1節に掲げられていない簡単な理学療法、即ち乙点数表に掲げられていた電気療法、ジェテルミー療法・超短波治療・長波治療・赤外線治療・紫外線治療・マッサージ（2肢以上又はこれに準ずる範囲のものを除く）・熱気浴・薬浴は基本診療料として一括して支払われる。（昭 33.10.20 保険発, 139）

乙表 3.0点

○低周波療は電気療法の項に準ずる。

（昭 30.3.18 保険発 63）

○低周波治療は、便秘・胃下垂・胃アトニー・腸スパスムス・膀胱炎・後天性近視眼のいずれの疾病についても、一般的には治療効果が期待できないので、認められない。（昭 37.5.1 保文発, 3227）

図 47 動物実験による記録（アメリカ）

○神経痛に対するイオン導入療法（ヒスタミンイオントフォレーゼ）は認められない。

（昭 30.3.18 保険発, 62）

電気代にもならない報酬を、より正当なるものにするよう、この点、発言権を有する教授方の一層の御努力をお願いいたします。

この研究は、故鈴木次郎教授の直接指導のもとで行なわれました。ここに後記して謝意を表しますと共に、先生の御冥福を祈ります。

参考文献

- 1) 鈴木次郎・立岩正孝・他：外科・整形外科領域における低周波電流医療。低周波医学, 6; 11-36. 1963.
- 2) Suzuki, J., und M. Suzuki: Die dritte Wirkung der Durchströmung als Grundlage der modernen Elektrotherapie und der gegenwärtige Stand der Elektrotherapie in Japan. Elektromedizin, 8; 65-71, 1963.
- 3) 鈴木正夫：電気治療。東京・文光堂, 1956.
- 4) Suzuki, J., et al.: Effect of Low Frequency Rectangular Pulses Spinal Polarization on the Reflex Action. "Modern Electrotherapy", 204-213, Tokyo: Maruzen Co. Ltd., 1956.
- 5) 田坂定孝・大牟礼一雄：低周波脊髄通電療法。東京・中外医学社, 昭 33.
- 6) 本間三郎・立岩正孝：人体脊髄シナプス反射における Post-tetanic Potentiation. 日本生理学会誌, 22; 1013-1020, 1960.
- 7) 立岩正孝：人体脊髄単シナプス反射における Post-tetanic Potentiation の基礎的並びに臨床的研究。日整会誌, 36; 345-368, 1962.
- 8) 鈴木次郎・立岩正孝・他：細胞内超微小電極法の人体骨格筋への基礎的臨床的応用。臨床脳波, 7; 1-8, 昭 40.
- 9) 鈴木次郎・立岩正孝・他：進行性筋ジストロフィー症の研究—特に電気生理学的研究。千葉医

- 学会誌. **41**; 361-369, 昭 40.
- 10) 野島元雄: 進行性筋ジストロフィーのリハビリテーション, リハビリテーション医学. **2**, 71-81, 1965.
 - 11) 鈴木次郎・立岩正孝・他: 進行性筋ジストロフィー症における筋静止膜電位と筋生検との関連について. 臨床脳研, **7**; 207-215, 昭 40.
 - 12) 鈴木次郎・立岩正孝・他: 進行性筋ジストロフィー症の研究—特にリハビリテーションの意義に関する考察. 千葉医学会誌, **42**, 317-324, 昭 41.
 - 13) 鈴木次郎・立岩正孝・他: 脊髄性小児麻痺に対するガランタミン使用の経験. 日本医事新報, 1929; 24-33, 昭 36.
 - 14) Wosdwichenskaja, W.S.: Die Anwendung von Niederfrequentem Impulsstrom bei traumatischer Erkrankung des Großhirns. Elektromedizin, **4**, 234-236, 1959.
 - 15) Magasanik, S.S.: Niederfrequenter Impulsstrom bei Behandlung Hypertonie-Kranker. Elektromedizin **4**, 237-238, 1959.
 - 16) Koppen, S., und R. Eichler: Neuere Aspekte in der Elektrotherapie. Elektromedizin, **4**, 170-172, 1959.
 - 17) Polster, H.G.: Über Aktionsstromtherapie. Elektromedizin, **5**; 36-49, 1960.
 - 13) Kowarschik, J.: Elektrogymnastik (Schwellstromtherapie). Elektromedizin, **1**, 25-29, 1956.
 - 19) 山下武広: 周波数変調脈波刺激による伸展反射. 千葉医学会誌, **44**; 307-316, 1968.
 - 20) 鈴木次郎・立岩正孝・他: 神経損傷に対する新治療器の試作 (第一報). 第 11 回日本低周波学会口演, 昭 42.10.19.
 - 21) 立岩正孝・他: 神経損傷に対する新治療器の試作 (第二報). 第 21 回日本筋電図学会口演, 昭 43.10.3.
 - 22) Takano, K., and S. Homma: Muscle Spindle Responses to Vibratory Stimuli at Certain Frequencies. 日本生理学会誌, **18**; 145-156, 1968.
 - 23) Bianconi, R., and Van der Meulen, J.P.: The response to vibration of the end organs of mammalian muscle spindles. J. neurophysiol., **26**; 177-190, 1963.
 - 24) 山中力: 人体筋紡錘に対する高頻度振動の効果. 千葉医学会誌, **40**; 338, 1964.
 - 25) 鈴木次郎・立岩正孝・山中力・他: 脊髄反射に対する低頻度振動の蓄積効果. 第 9 回日本低周波医学会口演, 1965.
 - 26) 高野光司: 電気睡眠と電気麻酔. 医学のあゆみ, **59**, 187-188, 昭 41.
 - 27) Wageneder, F.M., u. St. Schuy: Elektroheilschlaf und Elektronarkose mit Hilfe von gleichstromüberlagertem Breitwandrauschen. Elektromedizin, **10**; 193-198, 1965.
 - 28) Boyce, W.H., E. Lathem and L.D. Hunt: Research related to the Development of an artificial electrical stimulator for the paralyzed human bladder. J. urology, **91**; 41-51, 1964.
 - 29) Vincent, S.A.: Some Aspects of Bladder Mechanics. Bio-Medical Engineering, **1**; 438-445, 1966.