

脉冲调制中频电流疗法



中国人民解放军空军总医院

一九八二年四月

脉冲调制中频电流疗法

Pulse Modulated Medium Frequency
Current Therapy

林 世 德

中国人民解放军空军总医院

内 容 提 要

本书介绍了一种新型的中频电流疗法。书中叙述了中频电流疗法的发展,介绍了这种中频电流疗法产生的设计思想,脉冲波的设计依据,实验研究的结果,该疗法的特点、治疗作用、适应症,临床治疗初步报告,以及MTZ-A型脉冲调制中频电疗机的电原理等,还着重对机器操作和常见适应症的治疗方法进行详细说明和举例。可供理疗工作者在实际工作中参考用。

目 录

一、中频电流疗法的历史发展·····	1
二、脉冲波形设计的依据·····	5
三、脉冲调制中频电流镇痛作用及对局部 血液循环作用的实验研究·····	11
(一) 对象和方法·····	11
(二) 痛阈测定方法·····	12
(三) 试验结果·····	13
(四) 结论·····	18
四、脉冲调制中频电流疗法的特点·····	20
(一) 低频脉冲的频率·····	20
(二) 调制方式·····	20
(三) 调制脉冲的波形·····	27
(四) 中频载波电流的频率与波形·····	27
(五) 调幅度·····	28
(六) 输出阻抗·····	30
(七) 输出方式·····	30
五、治疗作用·····	32
(一) 止痛作用·····	32
(二) 促进局部血液循环作用·····	32
(三) 消炎作用·····	33
(四) 对运动神经和骨骼肌的作用·····	33

(五) 电流按摩作用·····	33
(六) 对内脏的作用·····	34
(七) 对植物神经的调节作用·····	34
六、适应症·····	35
七、治疗方法·····	36
(一) 调制方法的选择·····	36
(二) 调制波形的选择·····	36
(三) 频率的选择·····	37
(四) 电极·····	38
(五) 剂量、时间、疗程·····	38
(六) 处方·····	39
(七) 常见适应症治疗方法选择参考·····	51
八、临床治疗初步报告·····	58
九、MTZ-A 型 脉 冲调制中频电疗机·····	62
(一) 概述·····	62
(二) 技术指标·····	63
(三) 方框原理图·····	65
(四) 集成电路和集成运算放大器简介·····	66
(五) 调幅原理·····	67
(六) 电路原理·····	69
(七) 波形介绍·····	80
(八) 机器操作使用方法·····	80

一. 中频电流疗法的历史发展

低中频电流疗法是电疗法中发展很快, 非常丰富活跃的一个领域, 其中中频电流在临床应用的历史比之低频电流要短得多, 是近20多年新发展起来的一类电疗方法。50年代以前, $1 \sim 100 \text{ KHz}$ 这个中频频率范围的电流, 在电疗法中还是未曾被理疗医师开发应用的一个空白频段。50年代中期, 奥地利 Hans Nemec 首次提出应用干扰电流疗法于临床治疗, 其频率为 $4000 \pm 100 \text{ Hz}$ 。60年代中期苏联理疗学家 Ясногородский 开创应用正弦调制中频电流疗法, 所用频率为 $1000 \sim 5000 \text{ Hz}$ 。60年代末期, 我国上海的皮肤科医师杨国亮, 首先应用未经调制的等幅中频正弦电流治疗皮肤科疾病, 当时称这种疗法为“音频”电疗法, 主要是用 2000 Hz 的频率。“音频”电疗法在临床其他许多疾病的治疗上也获得一定效果。

自从把中频电流应用于临床治疗后, 20多年来, 中频电流疗法发展是快的, 受到理疗医师的重视和病人的欢迎。到目前为止所用的这三种中频电流疗法, 可以分为两类: 一是未经调制的等幅中频正弦电流, 起治疗作用的因素中, 只有单纯的中频正弦电流成份, 即习惯上称为“音频”电疗法的。二是调制的中频正弦电流, 起治疗作用的因素中, 除了中频正弦电流成份外, 还有低频正弦电流的成份, 而且主要的生理治疗作用还在于其低频成份。

调制的正弦中频电流显然比单纯的等幅中频正弦电流

（“音频”电疗法）要好，因为它不仅有中频成份的治疗作用，还有低频成份的治疗作用，它兼有低频和中频电流的优点。

低频脉冲电流的优点是具有良好的兴奋组织细胞功能的生理动力作用，但缺点是人体体表对低频电流的阻抗大，使人体皮肤不能耐受较大电流强度进行治疗，低频电流不容易达到较深的部位，治疗的时候往往有不舒适的刺痛感。

中频电流则与低频电流在某些方面相反，中频电流的优点是皮肤对它的阻抗小，治疗的时候可以应用比之低频电流大得多的电流强度，中频电流很容易地通过皮肤表层的阻抗而达到人体的较深部的组织，但是在生理动力作用方面不及低频脉冲电流明显。

而调制的中频正弦电流是一种由低频调制的中频电流，所以它兼有低频电流和中频电流的优点，而没有它们各自的缺点。因此从低中频电流疗法发展的趋势来看，应用调制的中频电流，日益受到国内外理疗医师的重视，因为它优于单纯的低频脉冲电流和单纯的中频正弦电流。

干扰电流疗法输入人体的电流还是频率为 $4000 \pm 100 \text{ Hz}$ 的中频正弦电流，治疗的时候要用两组频率不同的中频电流，交叉输入人体，在体内电流交叉处，根据差频的原理形成干扰场，“内生”出 $1 \sim 100 \text{ Hz}$ 的调制低频正弦电流。操作时需用4个电极，因此麻烦一些，而且电流在体内形成交叉的部位与需要治疗的病灶部位是否重叠在一起，在操作技术上往往也有困难。

正弦调制中频电流疗法则是把已经调制好的中频正弦电流输入到人体，因此治疗时同其他电疗一样，只用两个电极，而且在电极下直接作用于人体的电流就是既有中频成份

又有低频成份的低频调制的中频正弦电流。由于是在机器内调制好再输出治疗，因此对调制的诸因素可以自由地控制，如方便地从 $10\sim 150\text{Hz}$ 改变调制低频的频率，根据需要选择连调、间调、变调、断调任何一种调制方法，调整调制的深度从 $0\sim 100\%$ ，还可以选择输出方式，可以输出双向的正弦交流电或以单向半波型式输出。当输出为单向正波或单向负波时，在起治疗作用的因素中，除中频成份、低频成份外，又增加直流的成份。

在调制的中频电流中，中频电流起载波作用，把低频脉冲的信息载送到人体组织内部以达到生理治疗作用的目的。中频电流除了起载波作用外，也有它一定的治疗作用，但是起主要生理治疗作用的是低频电流成份，因此应当着重分析研究在低频电流成份中起治疗作用的因素。在低频成份中发挥治疗作用的因素主要有三个：即低频调制的频率，低频频率的变换与交替以及低频脉冲的波形。

1. 低频调制的频率

众所周知，不同的低频调制频率具有不同的生理作用，如频率在 10Hz 以下的低频电流，引起肌肉发生单收缩，对交感神经有兴奋作用。 $20\sim 40\text{Hz}$ 的频率引起肌肉作不完全强直收缩以及兴奋迷走神经。 50Hz 以上的频率引起肌肉发生强直收缩。 $100\sim 150\text{Hz}$ 的频率对交感神经则为抑制作用。

2. 低频频率的变换与交替

变换频率以交替作用于人体时，可以克服人体组织的适应现象，增加低频电流的生理动力作用。所以在干扰电疗法中设计有自动可变差频治疗。在正弦调制中频电流疗法中设计有连续调制、间歇调制、变频调制和断续调制四种不同

的调制方式。

3. 低频脉冲的波形

虽然到目前为止有关脉冲波形的生理作用方面的研究资料还是少的，我们仅仅知道不同波形的脉冲电流，其生理效应和治疗作用是不同的。在干扰电疗法和正弦调制中频电流疗法中，它们的中频电流是正弦波形，调制低频电流也是正弦波形的。

而正弦波形的电流显然不是一种刺激电流的最佳波形。正弦波电流是按正弦曲线变化的电流，正弦曲线是一种简谐振动曲线，简谐振动是一种最简单最基本的振动，用图线来表示简谐振动的曲线就是一条正弦曲线。同简谐振动一样，呈正弦曲线的电流只是一种最简单最基本的振动电流。正弦曲线电流作用在人体的生理作用与治疗作用，那末也只是一种最基本的作用。正弦波电流的作用主要只取决于其固有的频率，以及频率的变换与交替应用。

概括来说，有规则的电振荡可以分为两大类：一是简谐振荡，即正弦波电流。另一是多谐振荡，即脉冲波形电流。既然前面我们肯定了调制的中频电流兼有低频和中频电流的优点，而且是调制的低频电流起主要治疗作用。那末为什么不可以应用具有更好生理作用的脉冲波形作调制波呢？在低频脉冲电疗法中，理疗医师是注意研究和选择不同的脉冲波形的应用的，因此在调制的中频电流疗法中，我们何不可突破只应用简单的简谐振动的正弦波形调制的概念，设计一种新的应用多谐振荡的脉冲波来调制的中频电流疗法呢？这就是脉冲调制中频电流疗法产生的思想基础，也是中频电流疗法的一种发展。

二 .脉冲波形设计的依据

关于脉冲的概念，所谓脉冲含有脉动和短促的意思，脉冲波通常是泛指一切非正弦的波形，正弦波形不在脉冲概念之列。脉冲波可以周期性地出现成非周期性地出现，一般是间断地周期性地出现。而正弦波则是连续周期性地出现的。

常见的脉冲波的形状是多样的，如方波、尖脉冲、锯齿波、三角波、阶梯波等。见图1。

前面曾经提过脉冲波系一种多谐电振荡，正弦波为简谐电振荡。即一个非正弦的脉冲波形，可以分解成为直流成份及许许多多频率、振幅和相位不同的正弦、余弦波，这些正弦余弦波称为谐波。也就是说可以把一个脉冲波看成是由直流成份和许多频率、振幅和相位不同的正弦、余弦波按一定

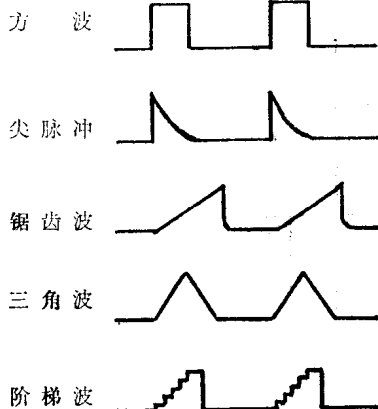


图1 常见的脉冲波形

规律而组成的。而正弦波是等幅的、只有单一的固有频率。一个脉冲波含有的谐波是非常丰富的。在脉冲沿处包含着谐

波的高频成份（高次谐波），脉冲的平顶处包含着直流成份和低频成份（低次谐波）。这些谐波又都各有不同的振幅、相位和频率。因此内容丰富的，综合了许多频率的谐波成份和直流成份组合而成的脉冲波，其生理作用和治疗作用当然也就比单纯的正弦波为好。这就如同习惯上常把两种或两种以上的电流混合叠加应用要比之单一的电流效果要好一样。

研究一个脉冲波形需要了解以下基本参数：

1. 脉冲幅度

由一种状态变到另一种状态的态化量，谓之脉冲幅度。但有时遇到一些脉冲，其顶部不平，起止时间不易精确测定，则规定脉冲波从10%到90%的幅度的变化值为脉冲幅度。以 I_m （电流）或 U_m （电压）表示。

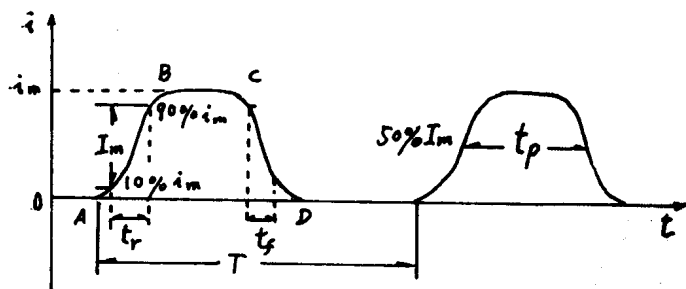


图2脉冲波形的参数

2. 脉冲宽度 通常把50% I_m 处的脉冲持续时间称为脉冲宽度，用 t_p 来表示。

3. 周期与频率 两个相邻脉冲周期性出现的时间为脉冲的周期，用 T 来表示。周期的倒数为脉冲的重复频率，以 F

表示，频率的单位是 H_z 。

4. 脉冲上升时间（前沿） 脉冲幅度从10%上升到90%的时间为脉冲上升时间，用 t_r 表示，或称为脉冲的前沿。

5. 脉冲下降时间（后沿） 脉冲幅度从90%下降到10%的时间为脉冲下降时间，用 t_f 表示，或称为脉冲的后沿。

6. 占空系数（或空度比） 脉冲周期 T 与脉冲宽度 t_p 之比称为占空系数，或空度比，以 Q 表示。

$$Q = T/t_p$$

以上这些参数中，在脉冲幅度，脉冲宽度和频率相同情况下，对生理作用来讲，最重要的就是要看脉冲的前沿和后沿的形状了。因为脉冲的前沿（上升时间），和后沿（下降时间）的不同，表示电流强度变率的不同，而电流强度变率的大小，对于刺激电流引起组织的兴奋来讲，具有极重要的意义，电流强度变率越大，刺激兴奋正常神经肌肉组织的能力越强。然而对于失神经支配的神经肌肉组织和内脏的平滑肌，由于其兴奋性与正常神经肌肉组织不同，则选择电流强度变率小的脉冲波形刺激要更容易引起其兴奋。因此在实际应用中，应根据不同的具体情况，选择脉冲波形的电流强度变率是不同的。而单纯的正弦波形显然是不能满足这种要求的。

我们研究分析比较在低频脉冲电疗法中所曾应用的各种脉冲波形，发现经常应用的脉冲波形，基本上是三种：即方波脉冲，尖脉冲（新感应电流）和指数曲线电流（三角波）。这为设计调制中频电流的脉冲波形提供了实际的依据。因此设计脉冲调制中频电流疗法的脉冲波形为方波，微分波（与新感应电流的尖脉冲相似），和积分波（与指数曲线电流相

似)，以这三种脉冲波形作为中频电流的调制波。下面我们来分析一下这三种脉冲波形的特点：

1. 方波

方波脉冲的特点是它的上升沿和下降沿都是陡直的，在单位时间内的幅度变化很大，即 t_r 和 t_f 的电流强度变率都很大，在脉冲的中间有一段电流强度变率很小，幅度变化很小的平顶部分。从频率和谐波方面看，方波脉冲的上升沿，下降沿，含有幅度较大的高次谐波，即以高频成分为主。方波脉冲的平顶部分含有幅度较大的低次谐波，即以低频成分为主。此外不难看出各种脉冲波形以及正弦波形比较，在脉冲幅度，脉冲宽度和频率相同的条件下，以方波脉冲电流的有效作用面积为最大，各种谐波成分最丰富。在低频脉冲电疗法的发展历史上，和临床治疗的实际上，方波脉冲是用得最多的一种波形，它广泛适用于神经肌肉的电刺激、镇痛、以及为引起血管神经的反应等方面。方波脉冲调制的中频电流见图3。

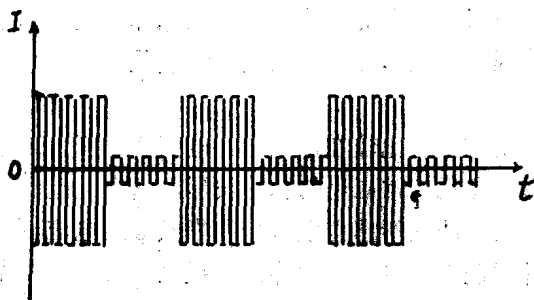


图3 方波脉冲调制的中频电流

2. 微分波

微分波脉冲的上升沿是陡直的，下降沿是坡缓的，即 t_r 的电流强度变率很大， t_f 的电流强度变率较缓，按指数曲线下降，脉冲形成一个尖顶。因为这是方波脉冲通过微分电路而实现，故名微分波。微分波实际是一个尖脉冲，是为模拟新感应电流的尖脉冲状而设计的，不同的只是新感应电流是单纯的低频的尖脉冲，这里的微分波是尖脉冲调制的中频电流。因此微分波可以具有感应电的治疗作用，但又没有感应电治疗时皮肤刺痛不适的感觉。微分波调制的中频电流见图4。

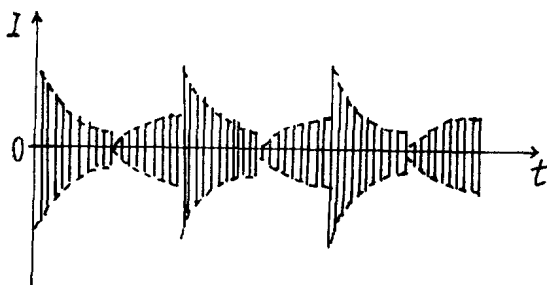


图4 微分波调制的中频电流

3. 积分波

积分波脉冲的上升沿是按指数曲线缓升，下降沿也是按指数曲线而缓降的，因为这是方波脉冲通过一个积分电路而实现，故名积分波。积分波实际即低频脉冲电流疗法中的指数曲线波调制的中频电流。所以临床上适宜用于刺激失神经

肌肉和内脏平滑肌。积分波脉冲调制的中频电流见图 5。

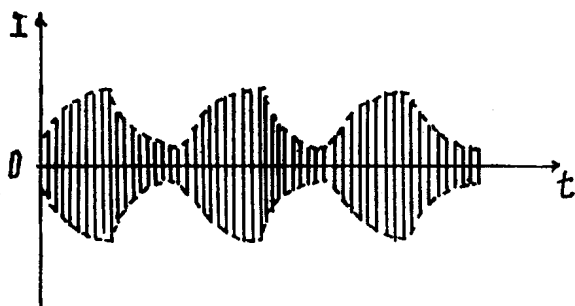


图 5 积分波调制的中频电流

三、脉冲调制中频电流镇痛 作用及对局部血液循环 的实验研究

为了研究观察不同波形脉冲调制中频电流的镇痛作用和促进局部血液循环的作用，我们设计并进行了以下实验。

(一) 对象和方法

选健康成年人20名为受试者，其中男14，女6；年龄21岁到53岁。

每个受试者先后接受5次试验，受试部位为前臂中上1/3的前侧，每次试验左右侧交替采用。有4次是分别用方波、正弦波、微分波、积分波四种不同脉冲波形调制的中频电流进行，电流作用时间为5分钟，在电疗前，电疗后立即，电疗后15分钟，测定其局部皮肤的痛阈，以及局部的皮肤温度。有一次是对照试验，对照试验同样放置电极，固定好，一切操作均同试验电疗一样。但对照试验前将机器输出保险丝摘下，这样实际是没有电流输出的，同样作用5分钟，并在对照作用前，作用后立即，作用后15分钟测定痛阈及局部皮肤温度。

因此本试验分5个组进行统计处理，即方波组、正弦波组、微分波组、积分波组和对照组。全部试验采用单盲法，

受试者不知道试验时所给予的是什么波形电流，也不知道哪次是假的，不通电的对照试验。

四种不同波形脉冲的调制中频电流除波形不同外，其它的电流参数条件均相同，即：

电极： $35\text{cm}^2 \times 2$ ，于前臂中上1/3对置。

f_0 （中频）： 4KH_z ，

M（调幅度）： 100%

f_1 （低频调制频率）： 50H_z

连调波，双向输出

I（电流强度）：以受试者最大耐受为限。

t：5分钟

（二）痛阈测定方法

采用一种脉冲的热辐射测痛法，热辐射的有效作用面积大约直径 2mm ，该脉冲由一个电子电路发生脉冲信号，触发可控硅并控制其输出电流强度，该电路能保持输出强度连续稳定。热脉冲的频率是可调的，实验时调到2次/秒，固定之。根据引起皮肤产生疼痛所需热辐射脉冲的次数多少，可以较准确地定量测定痛阈值。

痛阈测定直接在电极下的皮肤进行，即前臂中上1/3前侧，用墨水钢笔画两个直径约 1cm 的圆圈，每次测痛阈时，将探头对准在圆圈范围内的皮肤上，以使试验前后所测痛阈，均能保持在这个直径 1cm 内的同一部位，以尽量减少误差。测痛时将探头接触皮肤后开始计数，直到受试者有明显的热痛感为止，记下热脉冲的次数，取两次测定的脉冲数的平均值为痛阈值，然后比较试验前后痛阈值的变化。