

文章编号:1000-582X(2004)08-0043-04

# 监测缺血性脑水肿的新方法——脑电阻抗地形图法

张占龙,罗辞勇,王平,何为

(重庆大学电气工程学院,重庆 400030)

**摘要:**脑电阻抗的变化与脑水肿、脑梗塞有极大的关系,文中提出了脑电阻抗地形图应用在脑水肿检测的新方法。介绍了脑电阻抗地形图的硬件结构、脑电阻网络拓扑结构,以网络中的三角形单元为基础,详细讨论地形图的绘制处理算法。对脑水肿病人,进行了数据测取,并通过计算机形成阻抗地形图。从对病情变化病例的比较分析和稳定病人数据的重复性已经验证了这种方法的可行性。

**关键词:**脑电阻抗;地形图;成像

**中图分类号:**TP31

**文献标识码:**A

医学研究证明人体内不同组织具有不同电阻抗。脑电阻抗的变化与脑水肿、脑梗塞有极大的关系,对此国内外均有报道<sup>[1-2]</sup>。临床脑水肿主要通过CT、常规磁共振(MRI)及MRI弥散加权成像(DWI)等方式检测,虽可准确判断瞬时脑水肿的范围和程度,在临床过程中,缺乏实时的水肿演变信息<sup>[3]</sup>。由于CT的放射性,CT不能长期使用,不适合用做临床监护。因此一种无创、可床旁实施,能够反映脑水肿程度及演变状况的监护技术是临床急需。

研究小组在国内外率先提出基于EEG国际标准的10-20电极法测量脑电阻抗的研究方法。当脑部发生水肿或者出血时,脑电阻抗值将会发生变化,但是由于数据的有限,空间分辨率低,如何直观的以图形的方式来显示这些数据是比较困难的。文中首次提出了采用地形图来显示脑电阻抗数据。脑电阻抗的变化将会通过地形图的方式显示出来,为医生的诊断带来方便,并且由于脑电阻抗的测量没有放射性、无损伤适合应用于临床监护。

文中研究了脑电阻抗地形图系统的硬件设计、网络拓扑结构。利用VC6.0开发实现地形图绘制的算法,形成脑电阻抗地形图。使测量的数据能够通过软件系统实时的、直观的显示出来,系统的软硬件各个部分有机地结合起来,形成了一个完整的一体化的脑电

阻抗地形图研究系统。

目前该系统已经在重庆医科大学附属一院和二院临床测试,展开了脑水肿病人的脑电阻抗临床数据的采集工作,并且对采集到的数据进行了分析处理,根据病例数据所绘制的地形图中可以很明显判断脑水肿的病变发生位置。从数据的重复性已经验证了通过这种方法的可行性。

## 1 脑电阻抗地形图的硬件测量原理

脑电阻抗地形图是根据人体内不同组织具有不同的电阻抗这一物理原理,通过在颅表注入小的安全电流,测量颅表电极电位来绘制脑内部的电阻抗分布。脑电阻抗地形图系统主要由数据测量系统及地形图绘制软件两大部分组成。数据测量系统的作用就是在正弦激励下从头部电位测量中解调出反映体内阻抗分布的电信号,经A/D及数据处理后为地形图绘制软件提供高精度的数据。脑电阻抗地形图系统的总体结构如图1所示。

低频正弦波恒流源(激励源)的作用是产生对人体安全的正弦激励并以一定的激励强度施加于电极上而作用于被测对象,这样就会在被测对象表面产生一定规律的电位分布,该电位分布就是被测对象整体的电阻抗特性的一个反映,然后通过改变电极注入位置,

• 收稿日期:2004-03-20

基金项目:国家自然科学基金重点项目(50337020)和高等学校博士学科点专项科研基金(2002173)资助

作者简介:张占龙(1971-),男,陕西临潼人,重庆大学博士研究生,主要研究方向为生物医学成像及图像处理。

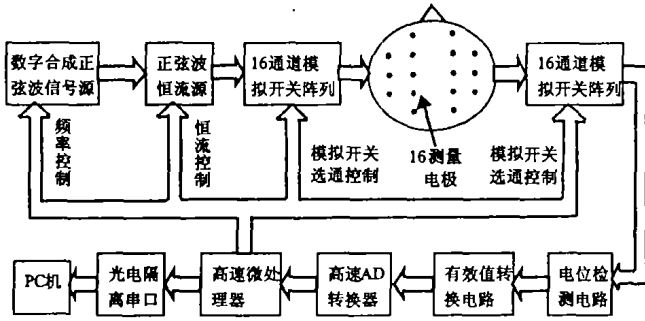


图1 脑电阻抗地形图的硬件结构

测量在不同位置注入电流时的电位分布情况,将该数据提供给计算机的算法以地形图的方式显示出来。

在系统中,首先产生100点输出的正弦波数据,经过高速D/A转换输出正弦波信号,然后通过一低通滤波器滤掉正弦波中的高频分量,这样就可以得到标准的正弦波信号<sup>[4]</sup>。在高速单片机的控制下通过模拟开关阵列将恒流输出施加在16个电极的任意两个电极上。然后高速单片机通过控制另外一个模拟开关阵列将16电极的任意两个电极电位选通到电位检测电路。

最后,高速微处理器通过控制高速A/D转换器来实现数据的采集,通过光电隔离串口实现将所有的电极电位分布的数据传输到PC机,然后通过PC机对数据进行处理从而实现地形图。

### 2 电极安置方法

在脑电阻抗地形图测量系统中,电极的安装方式参照EEG国际上广泛采用的10-20系统电极法<sup>[5]</sup>。本系统主要用于测量脑阻抗,电极安放的原则是:头皮电极采用空心圆柱形银质支架式电极。它与头皮接触的直径约0.8 cm。使用前电极均需氯化处理。圆柱形银质支架式电极使用前用多层纱布或用纱布将薄海绵块包裹在电极的前端,并用饱和盐水浸湿以备用。电极安放时先用75%酒精或丙酮擦掉电极放置部位头皮上的油渍,将头发分开,使电极与头皮密切接触,再用橡皮帽进行固定。电极安装位置见图2所示。

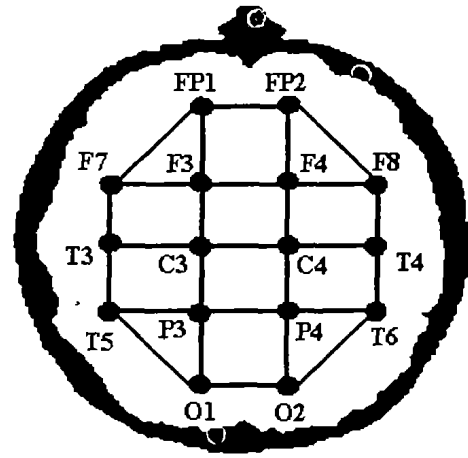


图2 电极安装位置

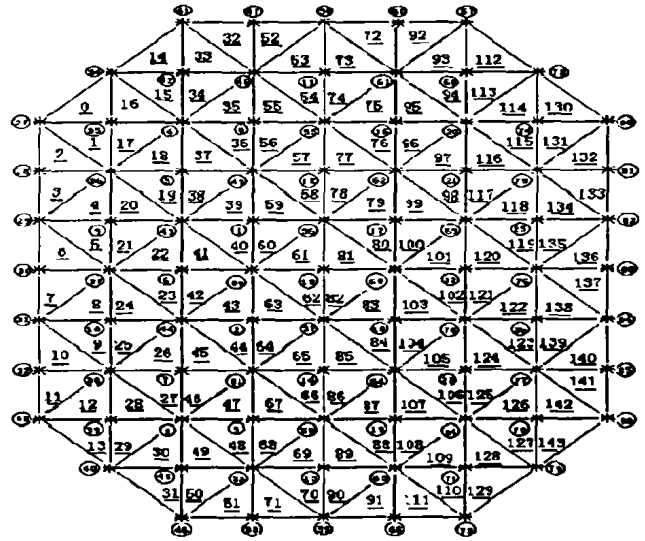


图3 脑电阻抗拓扑结构图

#### 3.1 顶点阻抗值的归一化处理

绘制色谱是按标么值处理,在0~1.0范围内分成20或者30个等级。因此在绘制前需要将各个顶点的阻抗值进行归一化处理。通过实际测量在绝大多数情况,脑电阻抗不会超过3.0 kΩ,唯有高危临近死亡的脑电阻抗会超过3.0 kΩ。因此,用于归一的最小值 $R_{min}$ 默认为0.0 kΩ,最大值 $R_{max}$ 默认为3.0 kΩ。如果所测量的阻抗最大值超过3.0 kΩ,就令用于归一的最大值等于测量阻抗最大值。

归一化的公式如下:

$$R_i^* = \frac{(R_i - R_{min})}{R_{max} - R_{min}} \quad 0 \leq i < m, m \text{ 是顶点数量}$$

#### 3.2 三角形单元的绘制

地形图的绘制是以每个三角形为基本单元进行的,因此绘制好单个三角形是关键<sup>[6]</sup>。让阻抗等值线逐条穿越三角形,这些等值线形成一系列的区域,然后对每个区域进行填充着色。等值线形成的区域情况非常复杂,需要根据多种情况进行处理。

### 3 脑电阻抗地形图的绘制

脑部阻抗图形的绘制,需要得到脑部电阻抗的网络拓扑结构。脑部阻抗的拓扑结构图如图3所示。将整个头皮划分为144个三角形,87个顶点。在形成的脑部阻抗的网络拓扑结构中,定义每个三角形的顶点为1个节点,每个节点有x,y二维坐标和阻抗值信息。每个三角形是1个单元,每个单元由3个节点(三角形的3个顶点)唯一标识。

1) 首先找出三角形3个顶点阻抗的最大值和最小值

如果最大值和最小值都在同一阻抗等级,则直接用该等级的颜色填充整个三角形区域,绘制结束。如果不是,则需要从最小值所位于的顶点出发,考虑让等值线穿越三角形区域。

为了便于分析处理,规定:最大值阻抗顶点和最小值阻抗顶点所构成的边称为第1条边,最小值阻抗和中间值阻抗所构成的边称为第2条边,剩下的是第3条边。

2) 第一条等值线穿越三角形分成如下3种情况

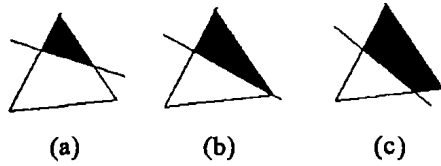


图4 第一块区域

通过三角形计算可以得到相交的2个顶点,在图2(a)中加上最小值的顶点(位于上图最上方的顶点是最小值顶点)得到绘制区域,而在图2(b)、(c)还要加上中间值顶点形成一个区域,用该等值线对应的颜色填充这个区域。如果再没有等值线穿越这个三角形,则由(4)分析后绘制结束,否则向下继续分析。

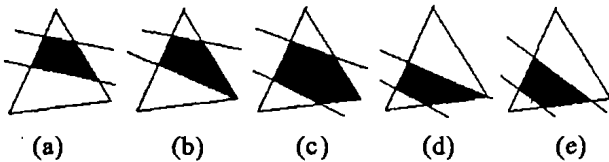


图5 中间区域

3) 中间块的填充

中间块由两条等值线切割三角形所形成的,总共有上图所列的5种情况,用对应的颜色填充。如果再没有等值线穿越这个三角形,则由(4)分析后绘制结束,否则重复继续分析。

4) 剩下的最后一个区域

最后的一个区域有图6所示三角形最下部分所显示的3种情况。在用高于最后等值线一个等级的颜色来填充剩下的区域,绘制结束。

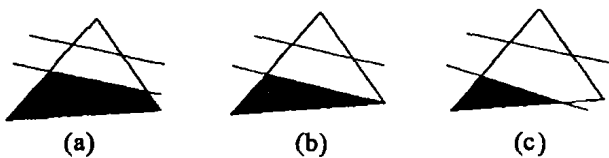


图6 最后一个区域

### 4 临床分析

研究小组在重庆医科大学附属一院和二院对20

例脑梗塞病人进行了脑电阻抗测量实验,对测量数据进行了脑电阻抗地形图的描绘。(说明:CT照片的左面是右脑,右面是左脑,这与脑电阻抗地形图是相反的,在图中有标注,以免发生误会。)

这20例脑梗塞病人中,其中医生诊断为大面积脑梗塞的有7人,通过脑电阻抗地形图监测和病人的CT相对比,符合的有6人;腔稀性脑梗塞的有8人(其中5例为深部腔稀性脑梗塞),通过脑电阻抗地形图监测和病人的CT相对比,符合的有4人;低密迷病灶伴有轻微水肿有4人,通过脑电阻抗地形图监测和病人的CT相对比,符合的有3人。数据统计见表1所示。

表1 脑梗塞病人脑阻抗数据统计

例数	阻抗平均	阻抗平均	阻抗平均	阻抗标准
	最大值/kΩ	最小值/kΩ	值/kΩ	
大面积脑梗塞7人	1.72	0.78	1.594	0.121
腔稀性脑梗塞8人	1.43	0.76	1.358	0.124
低密迷病灶伴有轻微水肿5人	1.25	0.77	1.089	0.137

通过病人的CT图和脑阻抗地形图进行对比,对于大面积的脑梗塞病人,脑阻抗地形图上显示的高阻抗区和CT图上显示的梗塞区位置基本相符。

下面给出1例大面积脑梗塞患者的脑阻抗数据的分析以及CT片与脑电阻抗地形图的对比分析。

病例:蒲××,女,69岁,诊断:左侧大面积脑梗塞,右侧局域梗塞。表2是测量的蒲××脑电阻抗数据,图7是蒲××的CT照片和脑电阻抗地形图。

通过数据分析,脑电阻抗的最大值为2.1 kΩ,位于左部。测量数据表明,左部阻抗要大于右部。测量的结果和医生的临床诊断结果是一致的。

表2 蒲××脑电阻抗数据

FP1-F3	F3-C3	P3-O1	C3-P3	FP1-F7	F3-F7	C3-T3	P3-T5	O1-T5
1.58	1.95	2.1	1.54	1.69	1.79	2.07	1.84	1.33
F7-T3	T3-T5	FP1-FP2	F3-F4	C3-C4	P3-P4	O1-O2	FP2-F4	F4-C4
1.97	1.82	1.6	1.88	1.83	1.78	1.12	1.91	1.82
C4-P4	P4-O2	FP2-F8	F4-F8	C4-T4	P4-T6	O2-T6	F8-T4	T4-T6
1.43	1.29	1.79	1.96	1.53	1.19	0.99	1.8	1.42

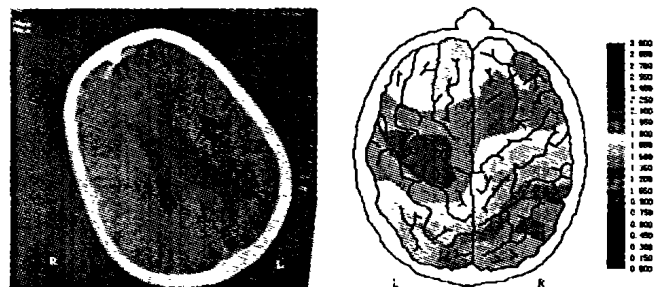


图7 蒲××的CT照片和脑电阻抗地形图

## 5 结 论

项目首次将地形图应用到脑电阻抗的研究,在国内外均没有先例。通过较多的临床数据表明,对病情平稳的病人和正常人,脑电阻抗地形图具有良好的重复性,证明理论是可行的。为脑水肿和脑梗塞的测量提供了一种新的途径。脑组织的生理功能变化和病理组织变化能引起组织阻抗的变化,这些信息将会在脑电阻抗地形图中体现出来,所以本方法可以显示不同时间的颅内血肿、水肿的演变状况。

### 参考文献:

[1] ITKIS M L, ROBERTS J K. A square signal wave method

for measurement of brain extra-and intracellular water content[J]. Acta Neurochir,1994,(60).

- [2] SUGA S, MITANI S, SHIMAMOTO Y, et al. In vivo measurement of intra-and extracellular space of brain tissue by electrical impedance method [J]. Acta Neurochir, 1990, 51 (suppl):22-24.
- [3] 董秀珍,秦明新.影响生物电阻抗断层成像质量的因素[J].中国医学物理学杂志,2001,18(4):34-37.
- [4] 侯伯亨.VHDL 硬件描述语言与数字逻辑电路设计[M].西安:西安电子科技大学出版社,1999.
- [5] 王保华.生物医学测量与仪器[M].上海:复旦大学出版社,2003.
- [6] 徐管鑫,何为.颅内血肿水肿成像研究——仿真与模拟实验[J].中国医学物理学杂志,2001,18(2):74-76.

## Examining brain oedema through brain electrical impedance topographic mapping

LUO Ci-yong, ZHANG Zhan-long, HE Wei

(College of Electrical Engineering Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** Change of Brain Electrical Impedance has great relations with brain oedema and brain block, a new method of Examining Brain Oedema through Brain Electrical Impedance Topographic Mapping (BEITM) is reviewed. Network topology structure that used in BEITM are also presented. According to topology, we discuss the drawing algorithm that based on triangle element. Some patients have been measured to make clinical data, according to this data Brain Electrical Impedance topographic come into being by computer at last, functional imaging has been implemented. Clinical case analysis compared with change state of an illness and repeatability of steady patient's data has proved the method is feasible.

**Key words:** brain electrical impedance; topographic mapping; imaging

(编辑 陈移峰)