

- [2] Blow, D. M. and Crick, F. H. C.: *Acta Cryst.*, 12, 794, 1959.
 [3] North, A. C. T.: *Acta Cryst.*, 18, 212, 1965.
 [4] Kartha, G.: *Acta Cryst.*, 14, 680, 1961.
 [5] Cullis, A. F. and et al.: *Proc. Roy. Soc.*, A265,

15, 1961.

- [6] Motthews, B. W.: *Acta Cryst.*, 20, 230, 1966.
 [7] 李家瑶等: 待发表。

[本文于 1979 年 12 月 25 日收到]

体表电位频谱分析技术

刘承德 陈鸿钧 朱庆富 陶宝山

(安徽中医学院经络研究所)

在生物医学中,广泛地应用心电图、脑电图、肌电图、胃电图以及皮肤电反射及神经动作电位的记录等,检测和分析各种器官的机能状态。根据检测的结果可以作出体表电位随时间变化的曲线,进行瞬态反应的时程和幅值的分析。但从理论上讲,对各种器官功能作动态分析,应当从该系统的瞬态反应及其频率特性两个方面着手,只有这样才能得到较全面的知识。从瞬态反应分析可看到该系统活动的时序规律,而从频率特性分析则可看出该系统各组成成份的活动规律。实际上,一个线性系统的瞬态反应中包含了它的频率特性的全部信息。这种瞬态反应和频率特性的对应关系,在数学上可阐述为设在时间轴上出现的连续信号为 $x(t)$, 它的频谱为 $X(f)$, 则两者的关系如下:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \exp(-i2\pi ft) dt \quad (1)$$

(1) 式即富里叶变换公式。它可将信号在时间域内的研究转变为在频率域内的研究,即能对信号作频谱分析。

过去,由于富里叶变换的计算量太大,有关器官活动规律的资料,只能从瞬态反应一个方面去分析,而把大量的频率域的有用信息都丢失了。现在有了成熟的“快速富里叶变换”(FFT)使计算量大大减少,从而可以借助通用数字电子计算机作频谱分析。本文介绍在体表电位的研究中,运用 FFT 时,如何解决离散数值抽样,进行 Basic 语言程序设计等问题。

离散数值抽样

各种体表电位的记录,都是连续的时间函数,记为 $x(t)$ 。我们是用数字计算机进行 FFT 运算,故首先要对连续信号 $x(t)$ 进行离散抽样,即按一定的时间间隔 Δ 进行取值,得到离散序列 $x(n\Delta)$, (其中 $\Delta = \dots -2, -1, 0, 1, 2, \dots$)。根据抽样定理及我们的经验,认为在离散抽样中必须注意以下几个重要的参数关系。

首先要注意 Δ 的选择,使其保证由 $x(n\Delta)$ 可以恢

复原始信号 $x(t)$ 。由抽样定理 (1) 可知,必须使: $\Delta \leq 1/2f_h$; 式中 f_h 为频谱中的最高可能频率。

其次要注意到频率的分辨率 F (或称频率分量间的增量;以 Hz 为单位)和最小记录长度 t_p (以秒为单位)的关系,即根据 $t_p = 1/F$ 的关系来选择。最后要在保持其他参量不变的情况下,增加被分析谱的高频范围或提高频率分辨率的唯一办法是增加记录长度内的点数 N 。如果 f_h 和 F 都已给定, N 必须满足 $N \geq 2f_h/F$ 。

实践证明,上述几个重要参数的关系是实现 FFT 算法必须满足的最低条件。

考虑一个 N 点的 FFT,由抽样得到时间序列 $x(K)$, ($K = 0, 1, 2, \dots, N-1$)。对应于公式 (1),根据离散富氏变换 (DFT) 公式:

$$X(f) = \sum_{K=0}^{N-1} x(K) \exp(-i2\pi Kf/N) \quad (2)$$

式 (2) 中 $f = 0, 1, 2, \dots, N-1$ 。 N 个点的频率序列 $X(f)$ 称为时间序列 $x(K)$ 的离散频谱,是一个复数。时间序列 $x(K)$ 的振幅谱定义为:

$$A(K) = \{Re^2[X(f)] + Im^2[X(f)]\}^{1/2} \quad (3)$$

时间序列 $x(K)$ 的相位谱定义为:

$$P(K) = \arctg \{Im[X(f)]/Re[X(f)]\} \quad (4)$$

FFT 的 Basic 子程序

在有关 FFT 的书籍中^[2],都是用 Fortran 或 Algol 语言编写的,这就必须使用大型通用电子计算机。为了适应只配有 Basic 语言的 Desj-130 小型通用机,我们自行编制了 FFT 的 Basic 子程序,已上机通过,并应用于两种体表电位的频谱分析。这个 FFT 的 Basic 子程序为:

```
200 REM THIS IS FFT AND IFFT SUBROUTINE
201 IF Y = 0 GOTO 205
202 FOR I = 0 TO N4
203 LET S[1] = -S[1]
```

```

204 NEXT I
205 LET N2 = N/2
206 LET U1 = U - 1
207 LET K = 0
208 FOR L = 1 TO U
210   FOR I = 1 TO N2
211     IFU1 = 0 GOTO 214
212     LET J1 = K/INT (2 ↑ U1)
213     GOTO 215
214     LET J1 = K
215     GOSUB 800
216     LET A = 6.28318 * P/N
218     LET C = COS(A)
220     LET S1 = SIN(A)
222     LET K1 = K
224     LET K2 = K1 + N2
226     LET T1 = R [K2] * C1 + S[K2] *
        S1
228     LET T2 = S[K2] * C1 - R[K2] * S1
230     LET R[K2] = R[K1] - T1
232     LET S[K2] = S[K1] - T2
234     LET R[K1] = R[K1] + T1
236     LET S[K1] = S[K1] + T2
238     LET K = K + 1
240   NEXT I
242   LET K = K + N2
244   IF K < N GOTO 210
246   LET K = 0
248   LET U = U1 - 1
250   LET N2 = N2/2
252 NEXT L
254 FOR K = 0 TO N4
256   LET J1 = K
258   GOSUB 800
262   IF P <= K GOTO 273
264   LET T1 = R[K]
266   LET T2 = S[K]
267   LET R[K] = R[P]
268   LET S[K] = S[P]
270   LET R[P] = T1
272   LET S[P] = T2
273 NEXT K
274 IF Y = 0 GOTO 300
275 FOR I = 0 TO N4
276   LET S[I] = -S[I]/N
277   LET R[I] = R[I]/N
278 NEXT I
300 RETURN

```

```

800 REM          P IS BIT INVERSE OF J1
802   LET P = 0
804   FOR Q = 1 TO U
806     LET J2 = INT [J1/2]
808     LET P = P*2 + INT [J1] - 2*J2
810     LET J1 = J2
812   NEXT Q
814   RETURN

```

应用验证

一、正常人、癫痫病及散发性脑炎的脑电图的频谱分析。

从双极导联第五支笔，即左中央区描记的脑电图上任意截取一段 12.3 厘米长的记录曲线，根据这样一段曲线，通常是难以分辨出器官机能状态是否正常。现将它视作脑电波幅值随时间而变化的函数，进行离散抽样，并连同上述程序送进 KD-3 型计算机(同 DSJ-130 型机)进行运算，得出其幅值谱如图 1、2、3 所示：

从频谱图上可清楚地看到脑电图中频率成份有一百多种。这些幅值分布，非常清楚地表明正常脑电图的幅值低而分布均匀，异常脑电图的幅值分布有突出的高峰，且不均匀。这样在临床诊断上就能够得到一个定量的和更直观的参考数据。

二、家兔体表电位的频谱分析。

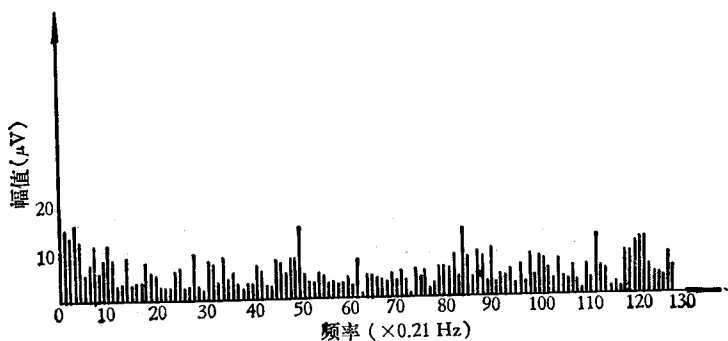


图1 正常人脑电图的频谱图

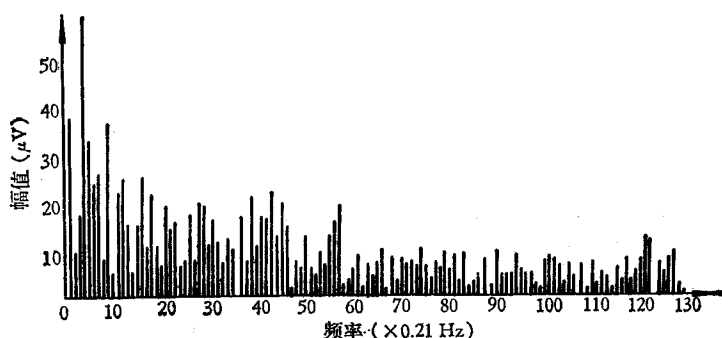


图2 癫痫脑电图的频谱图

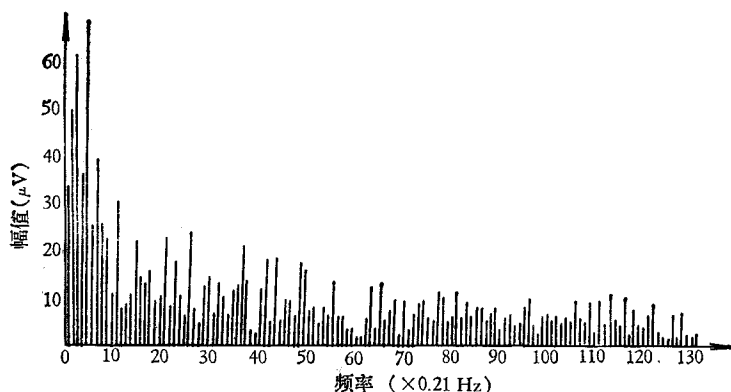


图3 散脑脑电图的频谱图

在家兔胸腹部交界处贴一电极,在后肢外侧贴一无关电极,用 RM-85 型多导生理记录仪描记体表电位曲线,作为对照;给家兔肌注 0.5 毫克乙酰胆碱后描记体表电位曲线,是为 Ach 记录;半小时后给家兔肌注 0.5 毫克去甲肾上腺素,再描记体表电位曲线,是为 ad 记录。从得到的频谱的幅频特性中可以看到,总的趋势是 ad 记录的高次波谱部分增强,低次波谱部分减弱,而 Ach 记录结果与此相反。Ach 记录在 0.05 赫及 0.2—0.25 赫处各有一个峰,且其幅值均大于 ad 记录,这两个频率分别相当于胃 (3c/分钟) 及肠 (12—15c/分钟) 的活动节律,而 ad 记录则在 1.5 赫及 11—12 赫处各有一个峰,且幅值均大于 Ach 记录。这两次频率分别相当于呼吸 (90c/分钟—平静时每分钟 40 次

左右,注 ad 后增至每分钟 90 次左右)及心电的 QRS 间期 (0.06—0.15s) 的活动情况。

由此可见,一段体表电位瞬态反应的记录,经 FFT 处理后,其频谱具有很高的分析效能,可用以分辨出呼吸、心跳、胃、肠运动的各种情况。

合肥市精神病院李鸿烈、黄仙玉两同志提供脑电图,本所许冠荪同志协助记录动物体表电位,特此致谢。

参 考 文 献

- [1] 程乾生编著:《信号数字处理的数学原理》。
- [2] E. O. 布赖姆著:《快速富里叶变换》,上海科技出版社。

[本文于 1980 年 7 月 21 日收到]

蛋白质水溶液和脂界面上的超微弱发光

李庆国 翁渝民

(上海复旦大学)

近年来,由于光子计数技术的发展,在极弱光通量测量方面,有了突破。凭借这种技术,发现动植物有机体,在正常生理状态下(暗反应),它们的细胞、细胞器(如线粒体),以及动物的肝脏、血液、植物的根、茎、叶等均有光子释放。因为其光通量极弱,通常称为“超微弱发光”^[1-2]。其本质是由于机体内不饱和脂肪酸的氧化作用,产生了过氧化自由基,当它们复活时能释放出光子。Журавлёв 等人 (1972)^[2] 报道,蛋白质能增强脂的氧化发光效应。这种现象关系到

生物膜,在“暗反应”条件下,能否产生蛋白质分子的电子激发态问题,所以受到有关方面的注意。本文报道我们在这方面的实验研究工作。

材 料 和 方 法

实验中采用的非饱和脂肪酸为油酸 (E Merch Darmstadt)。色氨酸晶体、甘氨酸晶体、牛血清白蛋白 (BSA) 等均为市售生化试剂。

样品体系: 我们用蛋白质或氨基酸的水溶