

脑死亡脑电非线性定量分析

章 悦¹, 曹 洋², 孙 冰¹, 吴洵昶¹, 朱国行¹, 洪 震¹

(¹复旦大学神经病学研究所200040; ²复旦大学生命科学院科学研究中心200433)

关键词 脑死亡; 脑电图; 非线性定量分析; C0复杂度; 近似熵

摘要 **目的:**运用近似熵(ApEn)和C0复杂度对脑死亡患者脑电图(EEG)进行非线性定量分析,期望寻找一种可靠而又敏感的脑死亡诊断标准。**方法:**研究对象35例,其中男性21例,女性14例;年龄16~85岁。根据其临床表现和EEG结果分为脑死亡组、临床脑死亡组和非脑死亡组。对每组进行ApEn和C0复杂度分析,并比较3组结果。**结果:**脑死亡组患者17例,男性11例,女性6例;年龄21~82岁。临床脑死亡组5例,男性3例,女性2例;年龄16~85岁。非脑死亡组13例,男性7例,女性6例;年龄17~84岁。脑死亡组的ApEn值约为1.0,非脑死亡组的ApEn值约为0.3,临床脑死亡组ApEn值介于两者之间。脑死亡组C0复杂度值约为0.17,非脑死亡组C0复杂度值约为0.06,临床脑死亡组介于两者之间。无论是ApEn还是C0复杂度,数值上越接近脑死亡组者预后越差,反之越好。**讨论:**ApEn和C0复杂度对EEG进行非线性定量分析都是判定脑死亡较好的辅助检查。

Nonlinear Quantitative Analysis of the EEG Waves in Brain Death Patients ZHANG Yue¹, CAO Yang², SUN Bing¹, WU Xun-Yi¹, ZHU Guo-Xing¹, HONG Zhen¹ ¹The Institute of Neurology Fudan University, Shanghai 200040; ²Department of Physiology and Biophysics Brain Science Research Center Fudan University Shanghai 200433, China

KEY WORDS brain death; electroencephalogram(EEG); nonlinear quantitative analysis; C0 complexity; approximate entropy (ApEn)

ABSTRACT **Aim:** To quantify the EEG data in the brain death patients with ApEn and C0 complexity expecting to obtain a new criteria with high sensitivity and specificity for the diagnosis of brain death. **Methods:** 35 subjects, including 21 males and 14 females, aged from 16 to 85 were recruited and then separated into 3 groups: brain death group, clinical brain death group and non-brain death group according to their clinical and EEG manifestation. We analyzed the data of each group with ApEn and C0 complexity and made comparison. **Results:** 17 patients, 11 males and 6 females, aged from 21 to 82 were admitted to the brain death group; 5 with 3 males and 2 females (16~85) to the clinical brain death group; 13 with 7 males and 6 females (17~84) to the non-brain death group. The ApEn result of the brain death group was about 1.0 while the non-brain death group was 0.3. The result of the clinical brain death group was ranged from 0.3 to 1.0. The C0 complexity result of the brain death group was about 0.17 while the non-brain death group was 0.06. The result of the clinical brain death group was ranged from 0.06 to 0.17. Higher results of ApEn or C0 complexity implicated better prognosis while lower ones were associated with poor outcome. **Conclusion:** Both ApEn and C0 complexity are suitable tests for the diagnosis of brain death.

脑电图(electroencephalogram, EEG)是诊断脑死亡的重要检查手段,脑电定量分析可以对脑死亡的脑电信号进行更准确更客观的分析。但是由于脑电具有大量非线性特性,线性定量方法应用受到很大限制,因此,近年来定量 EEG 非线性分析方法较受关注。本研究旨在寻找一种探寻可靠、敏感的脑死亡诊断指标,选择 2 种可能可行的非线性算法——近似熵(approximate entropy, ApEn)和C0复杂度(C0 complexity)进行初步的脑死亡脑电定量研究。

对象与方法

研究对象 复旦大学附属华山医院神经内科病房、神经内科急诊室、内科急诊室和中心ICU的患者共35例,其中男性21例,女性14例;年龄16~85岁,平均(50±22.5)岁。

分组标准 诊断标准参照美国1995年AAN的脑死亡判定的标准进行操作^[1]，具体标准如下。

1. 先决条件：有导致器质性脑损伤的病因；除
外电解质、严重酸中毒和内分泌紊乱；排除药物中毒；
中心体温（直肠温度或食道温度） 32°C （ 90°F ）。

2. 必须满足3个条件:深昏迷、脑干反射消失、自主呼吸停止。其中脑干反射包括:瞳孔对光反射,头眼反射,前庭反射,角膜反射,下颌反射,咽反射和咳嗽反射。自主呼吸停止的标准是无呼吸试验阳性。另外参考日本厚生省标准的内容^[2],入组标准中加入睫状体脊髓反射消失,排除标准中加入收缩压 90 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)。

3. 入组标准：深昏迷，脑干反射消失(包括角膜反

射、瞳孔对光反射、头眼反射、前庭眼反射、咳嗽反射、咽反射、睫状体脊髓反射)和无呼吸试验阳性。排除标准:严重的电解质紊乱,酸中毒和内分泌紊乱;镇静药、氨基糖苷类、三环抗抑郁药、抗胆碱能药、抗癫痫药、化疗药和神经肌肉接头阻滞剂等药物中毒;低温;收缩压 90 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa 以及其他能够预见到的干扰脑死亡判断的因素。

4. 确诊试验：床旁 EEG 检查符合以下技术标准^[3]：
最少使用 8 个头皮电极； 电阻介于 100~5 000 ；
2 个电极间距 > 10 cm； 敏感度 > 2 μV ，时间 > 30
min； 高频滤波 > 30 Hz，低频滤波 < 1 Hz； 诊断
标准为 EEG 静息电位。

分组资料 根据以上判定标准,将35例患者分为3组。脑死亡组:患者处于深昏迷状态,不存在上述各种反射,无呼吸试验阳性,不存在以上排除标准,并且EEG检查呈静息电位,入组病例17例,其中男性11例,女性6例;年龄21~82岁,平均(47.8 ± 20.1)岁。临床脑死亡组:患者处于深昏迷状态,不存在上述各种反射,无呼吸试验阳性,不存在以上排除标准,但EEG检查不为静息电位,入组病例5例,其中男性3例,女性2例;年龄16~85岁,平均(51 ± 30.4)岁,EEG检查结果见表1。非脑死亡组:本组病例临床表现和EEG检查结果均不符合脑死亡判定标准,入组病例总数13例,其中男性7例,女性6例;年龄17~84岁,平均(55.6 ± 24.52)岁,EEG检查结果 波为主的有1例, 波为主的有1例, 波为主的有8例, 波为主的有3例,EEG呈静息的0例。

表1 临床脑死亡组的EEG检查结果
Tab 1 The EEG results of patients in the clinical brain death group

编号 ID	性别 Sex	年龄（岁） Age	临床疾病 Diagnosis	EEG 检查 EEG results
1	女	84	呼吸心跳骤停	α 和 δ 波
2	男	85	脑干出血	α 波
3	男	53	呼吸心跳骤停、运动神经元病	右侧半球见低幅 δ 波
4	男	16	脑炎、继发癫痫	α 波
5	女	17	脑炎、继发癫痫、呼吸心跳骤停	α 波 θ 波

3组患者临床诊断见表2。3组病例均随访至2006年12月。

EEG数据采集方法 采用美国Neuroscan公司Nuamp
便携式脑电图仪,参照国际10/20系统安置电极,用盘
状电极进行描记。记录电极置前额

F7和F8处,电极间距>10 cm,接地电极置于FpZ处,参考电极置于耳垂A1和A2;电极间电阻<5 k Ω ;同时描记心电图,并做好记录工作;描记时间不少于30 min。

数据分析方法 使用Matlab6.5.1进行EEG信号回
 放定性, 经 名 专业医师分析讨论后, 得出 结

表2 脑死亡组、临床脑死亡组和非脑死亡组的病因诊断 (n)

Tab 2 The diagnosis of the patients in brain death group, clinical brain death group and non-brain death group (n)

诊 断 Diagnosis	脑死亡 Brain death	临床脑死亡 Clinical brain death	非脑死亡 Non-brain death
蛛网膜下腔出血 Subarachnoid hemorrhage	5	0	0
脑梗死 Cerebral infarction	2	0	1
脑出血 Cerebral hemorrhage	7	1	3
电击伤 Electrical injury	1	0	0
脑炎 Encephalitis	0	2	5
呼吸心跳骤停 HIE	2	2	0
CO 中毒 CO intoxication	0	0	1
地西洋中毒 Diazepam intoxication	0	0	1
颅内多发病变 Intracranial multiple focus	0	0	1
运动神经元病 Motor neuron disease	0	0	1
总数 Total	17	5	13

果。非线性定量分析方法：

1. ApEn 算法^[4]：

步骤1：取单导记录的EEG 30 s(10 000点)；

步骤2：设该10 000长度的时间序列为 $u=[u(1), u(2), \dots, u(10000)]$ ，按顺序构造 m 维矢量 $X(i)=[u(i), u(i+1), \dots, u(i+m-1)]$ 和 $X(j)=[u(j), u(j+1), \dots, u(j+m-1)]$ ，其中 $i, j=1000-m+1$ ；

步骤3：计算矢量 $X(i)$ 和 $X(j)$ 之间的距离：

$$d[X(i), X(j)] = \max_{k=1, 2, \dots, m} |u(i+k-1) - u(j+k-1)|;$$

步骤4：给定阈值 r (r 为选定的相似容限, $r > 0$)，对于每一个 $i=10000-m+1$ 统计 $d[X(i), X(j)] \leq r$ 的数目，如果 $d[X(i), X(j)] \leq r$ ，那么 $X(i)$ 和 $X(j)$ 就被认为是近似的，计算近似矢量个数与矢量总数的比值：

$$C_i^m(r) = \frac{1}{10000-m+1} \left\{ \text{The number of } \{d[X(i), X(j)] \leq r\} \right\}$$

$$j \leq 10000-m+1$$

步骤5：定义 $\phi_m(r)$ 为 $\ln C_i^m(r)$ 的平均值：

$$\phi^m(r) = \frac{1}{10000-m+1} \sum_{i=1}^{10000-m+1} \ln C_i^m(r)$$

步骤6：对于 $m+1$ ，重复步骤2~5，得到 $\phi_{m+1}(r)$ ；

步骤7： $\text{ApEn}(m, r, N) = \phi_m(r) - \phi_{m+1}(r)$ 。

其中 $m=2$ ， $r=0.1 \sim 0.2$ s，(s 是原始数据的标准差)。

2. C0 算法^[5]：

步骤1：对原始脑电信号时间序列 $s(t)$ 作傅立叶变换(FFT)，得到序列的幅度谱 $x(k)=\text{FT}[s(t)]$ 。

步骤2：求幅度谱的平均值 \bar{x} ，设 $>$ 平均值5倍的部分为序列规则部分的贡献， $<$ 或等于平均值5倍的成分则是不规则部分的贡献。

$$x'(k) = \begin{cases} x(k), & \text{if } x(k) > 5\bar{x} \\ 0, & \text{if } x(k) \leq 5\bar{x} \end{cases}$$

步骤3：对规则部分贡献的频谱 $x'(k)$ 作傅立叶反变换 $s'(t)=\text{FT}^{-1}[x(k)]$ ，得到 $s'(t)$ 。

步骤4：定义C0复杂度为 $|s(t)-s'(t)|$ 与 $s(t)$ 所包围区域的面积之比。

$$C0 = \frac{\sum_{t=1}^N |s(t) - s'(t)|}{\sum_{t=1}^N |s(t)|}$$

比较脑死亡组和非脑死亡组的 ApEn 和 C0 复杂度的结果,用计量资料 t 检验;根据以上结果评价临床脑死亡组的 ApEn 和 C0 复杂度。

结 果

脑电定量分析结果 脑死亡组与非脑死亡组各脑区 ApEn 复杂度结果比较见表 3。经 t 检验,脑死亡组与非脑死亡组比差异有统计学意义($P < 0.05$)。脑死亡组患者各导联的 ApEn 复杂度均值 1.0,而非脑死亡组患者

各导联的 ApEn 复杂度均值 0.3。脑死亡组与非脑死亡组各脑区 C0 复杂度结果比较见表 4。

经过 t 检验,脑死亡组与非脑死亡组比较差异有统计学意义($P < 0.05$)。脑死亡组患者各导联的 C0 复杂度均值 0.17,而非脑死亡组患者各导联的 C0 复杂度均值 0.06。

随访发现,17 例脑死亡患者预后不佳,均在 1 周内死亡;而 13 例非脑死亡患者脑功能有不同程度的恢复。5 例临床脑死亡患者的 EEG 复杂度及预后见表 5。

表3 脑死亡组和非脑死亡组各导联的ApEn复杂度值($\bar{x} \pm s$)
Tab 3 ApEn complexity in different leads in brain death group and non-brain death group($\bar{x} \pm s$)

组 别 Group	Fp1	Fp2	F3	F4	F7	F8	均 值 Average
脑死亡组($n=17$) Brain death group	1.010 5 \pm 0.443	0.995 6 \pm 0.460	1.123 8 \pm 0.404	1.062 3 \pm 0.427	0.991 5 \pm 0.432	0.943 3 \pm 0.477	1.021 1
非脑死亡组($n=13$) Non-brain death group	0.221 8 \pm 0.213	0.293 7 \pm 0.276	0.308 7 \pm 0.281	0.304 6 \pm 0.278	0.293 0 \pm 0.256	0.321 6 \pm 0.275	0.290 5

表4 脑死亡组和非脑死亡组各导联的C0复杂度值($\bar{x} \pm s$)
Tab 4 C0 complexity in different leads in brain death group and non-brain death group($\bar{x} \pm s$)

组 别 Group	Fp1	Fp2	F3	F4	F7	F8	均 值 Average
脑死亡组($n=17$) Brain death group	0.161 3 \pm 0.144	0.165 7 \pm 0.127	0.194 7 \pm 0.121	0.181 2 \pm 0.115	0.154 7 \pm 0.107	0.173 6 \pm 0.146	0.171 9
非脑死亡组($n=13$) Non-brain death group	0.040 7 \pm 0.035	0.066 6 \pm 0.096	0.054 3 \pm 0.058	0.067 7 \pm 0.085	0.056 1 \pm 0.061	0.056 0 \pm 0.056	0.056 9

表5 临床脑死亡组各导联的复杂度及预后
Tab 5 EEG complexity and prognosis of the patients in clinical brain death group

编 号 ID	复杂度 Complexity	Fp1	Fp2	F3	F4	F7	F8	均 值 Average	预 后 Prognosis
1	ApEn	0.419 9	0.305 4	0.337 8	0.266 3	0.475 3	0.444 1	0.374 8	存活 8 个月,死于心脏病
	C0	0.066 2	0.024 9	0.059 3	0.056 9	0.072 2	0.069 5	0.058 2	
2	ApEn	0.318 5	0.610 0	0.547 6	0.533 7	0.277 1	0.959 6	0.541 1	存活 18 个月,死于多器官衰竭
	C0	0.048 3	0.044 7	0.050 9	0.044 4	0.046 0	0.097 4	0.055 3	
3	ApEn	1.118 7	0.521 3	1.031 0	0.441 9	1.199 3	0.563 4	0.812 6	存活至今,植物人状态
	C0	0.214 0	0.052 1	0.334 7	0.050 0	0.240 0	0.062 6	0.158 9	
4	ApEn	0.959 1	0.716 0	0.737 7	1.240 2	0.874 9	1.287 1	0.969 2	存活 3 d
	C0	0.066 9	0.113 2	0.092 9	0.433 3	0.160 3	0.383 1	0.208 3	
5	ApEn	0.189 2	0.107 6	0.119 9	0.026 8	0.215 8	0.078 5	0.123 0	存活至今,现已正常生活
	C0	0.034 2	0.014 9	0.018 3	0.017 3	0.020 5	0.011 9	0.019 5	

4 号病例 EEG 各导联的 ApEn 复杂度均值和脑死亡组接近,预后最差,在 3 d 后死亡;1、2、3 号病例各 EEG 导联的 ApEn 复杂度均值在 0.3~1.0,预后较脑死亡组好,但比非脑死亡组差;5 号病例临床表现虽然符合脑死亡标准,但 EEG ApEn 复杂度均值和非脑死亡组相符,经治疗现已能正常生活。

4 号病例 C0 复杂度值 > 0.17 ,预后最差;3 号病例各导联的 C0 复杂度值临界 < 0.17 ,虽存活至今,但一直处于植物人状态;1、2 号病例各导联的 C0 复杂度值临界 < 0.06 ,尚能存活数月;5 号病例 C0 复杂度值远 < 0.06 ,预后最佳。

讨 论

EEG 是指从人头皮记录到的电信号,它具有混沌性质^[6]。经典物理学(拉普拉斯决定论)认为只要知道系统随时间演化的规律,根据初始条件,就能预测系统今后的行为。这样,只要人类拥有关于这个世界的足够的知识,就能预测未来。因此,在传统的观念中系统要么决定而可预测,要么随机而不可预测。混沌现象提出一种新的可能,系统虽然是决定的,有时还非常简单,但仍然不可预测,表现出类似随机的行为。有人将混沌称为“决定的随机”。近 100 年来,人们寻找各种 EEG 的定量方法,大体可以分成线性方法和非线性方法。线性分析方法,包括频谱分析等。这类方法原先广泛应用于电子、电路、无线电等,是非常成熟的方法,但运用在具有混沌性质的生物信号,如 EEG 上就有一定局限性了。混沌系统能产生各种不同程度的复杂现象,研究混沌理论——非线性动力学能精确的描述这些复杂现象,并能定量的衡量它们的复杂程度。因此要想衡量、比较大脑活动的复杂程度,可以用非线性动力学的方法来解决,这类方法则比较适合 EEG 等非平稳系统的研究。

初期的应用非线性理论分析脑电的工作还是相当粗糙的,无法作进一步的统计分析。在 20 世纪 80 及 90 年代初,有 2 种主要的研究方法,一是计算重构空间中吸引子的维数,二是计算吸引子的 Lyapunov 指数。两者在处理脑电等生物医学信号时表现不理想,它们要求分析系统在一段较长时间内保持平稳,但生物系统的一个显著特点就是非平稳,并且该方法对噪声十分敏感,信号中如果稍混杂有噪声或性质的微小改变就会对分析结果产生较大的影响。

另一种不同的非线性度量——复杂度,近年开始引起人们的注意。复杂度相比 Lyapunov 指数和相关维数最大的一个优势就是分析时所需的数据量少。另一优势则

是复杂度算法一般都有一定的抗噪声能力,这 2 个优势使复杂度非常适合于生物信号的分析,复杂度能反映系统的规则程度。复杂度是非常广的概念,这些定义主要来自两个领域:符号动力学及信息理论。前者包括 Lempel-Ziv 复杂度,后者包括 K-S 熵复杂度、ApEn 复杂度和 C0 复杂度等。Lempel-Ziv 复杂度所需数据比较少,但需进行过分粗粒化处理,过分的粗粒化处理可能会改变原始信号的性质,从而导致错误的结论,因此本研究不采用该方法。

ApEn 复杂度具有以下一些特点^[7]:只要比较短的数据就能得出比较稳健的估计值,通常应用于生物信号时取 100~5 000 点进行估计;有较好的抗噪和抗干扰能力,特别是对偶尔产生的瞬态强干扰有较好的承受能力;对于确定性信号和随机信号都适用,因而对非平稳的生物信号特别有用,是比较理想的分析方法。C0 复杂度是陈芳等^[5]提出的一种新方法,该方法所需的数据也较少,没有过分的粗粒化,与 ApEn 相比算法更简单,也是可供选择的方法之一。ApEn 复杂度和 C0 复杂度在 EEG 分析中的可行性在既往文献已有报道。

如何准确判定脑死亡是目前临床的关注热点,为避免判断上的分歧,应尽可能采用客观性和准确性较高的辅助检查,EEG 就是比较好的方法。既往文献有明确的操作规范和诊断标准,但是近年来,随着电子产品的增多,EEG 仪器的敏感度提高,各种噪音可严重干扰 EEG 的判读,国内、外常有脑死亡患者脑电信号不为静息电位的报道。定量 EEG 是计算机技术飞速发展的产物,是计算机对脑电进行时域和频域计算和显示的技术,其中非线性方法如 ApEn 复杂度和 C0 复杂度等具有取样时间短、抗干扰能力强的特性,特别适合对脑电信号的定量研究,在脑电定量研究领域得到越来越广泛的应用。脑死亡脑电复杂度分析具潜在应用价值。因此,本研究采用 ApEn 复杂度和 C0 复杂度对脑死亡患者脑电信号进行定量分析。

ApEn 是 Pincus^[4]在 1991 年定义的,主要用来定量描述复杂系统的不规则性。在脑电检查方面,该方法可用于麻醉患者的检测^[8,9]、重症患者监测^[10]和认知功能研究等^[11]。按照 Pincus^[4]的假设,越是不规则的时间序列对应的 ApEn 就越大。但在脑死亡时脑电信号消失,因此,周围随机噪音在电信号中所占比例应增加,在本研究中,脑死亡组的 ApEn 复杂度值 1.0,而非脑死亡组的 ApEn 复杂度值 0.3,结果与 Pincus 的假设吻合,提示 ApEn 复杂度分析可能有助于脑死亡的诊断和鉴别。

复杂度与患者预后也有一定相关性。临床脑死亡

患者中, ApEn 复杂度值与非脑死亡组相近的患者预后相对较好; 而 ApEn 复杂度值和脑死亡组接近的患者预后较差。因此, 如果能对更大的样本进行统计研究, 那么有可能使我们得出一种诊断脑死亡的客观指标。

C0 复杂度是在脑电信号的实际分析中提出的, 该方法曾用于癫痫发作的预测, 在动物实验中具有较高的准确率^[12]。C0 复杂度的主要是把信号分解成规则和非规则成分两部分, 不规则的时间序列对应的 C0 复杂度越大。在本研究中, 脑死亡组的 C0 复杂度值 0.17, 而非脑死亡组的 C0 复杂度值 0.06, 故与假设吻合。C0 复杂度和患者的预后也有相关性。C0 复杂度算法比 ApEn 复杂度简单, 也具有较大的应用价值。

参考文献

- [1] AAN. Practice parameters for determining brain death in adults (Summary statement)[J]. The Quality Standards Subcommittee of the American Academy of Neurology, 1995, 45(5): 1012-1014
- [2] 铃木忠. 脑死亡判定法[M]. 日本医学介绍, 2002, 23(10): 456-459
- [3] Ernst. Electroencephalography[M]. 5th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2005: 479-482

上接第 60 页

完全控制发作的同时, 阵发性慢活动消失是一个有利的预后征象。但一般 REEG 的阳性率较低, 仅为 29.6%^[4]。从本文首次检查及复查监测结果来看, AEEG 阳性率及痫样波发放率均高于 REEG, 差异有显著统计学意义 ($P < 0.001$)。有些患者 REEG 复查多次均为正常, 而动态 AEEG 为异常, 如果按 REEG 结果指导用药, 就会影响患者的治疗效果。AEEG 阳性率明显高于 REEG, 主要是 AEEG 监测时间长, 捕获到癫痫临床发作及发作间歇期的癫痫瞬间放电概率大。尤其是在自然生活状态及自然睡眠 EEG 阳性率更高^[5]。更能真实的反映病情, 有利于抗癫痫药物疗效的观察, 为指导癫痫临床用药提供更有价值的科学依据^[6]。

- [4] Pincus SM. Approximate entropy as a measure of system complexity [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1991, 88:2297-2301
- [5] 陈芳, 顾凡及, 徐京华, 等. 一种新的人脑信息传输复杂性的研究[J]. 生物物理学报, 1998, 14:508-512
- [6] Babloyantz A, Salazar JM, Nicolis C. Evidence of chaotic dynamics of brain activity during the sleep cycle[J]. Phys Lett, 1985, 3: 152-156
- [7] 杨福生, 廖旺才. 近似熵——一种适于短数据的复杂性度量[J]. 中国医疗器械杂志, 1997, 21:283-286
- [8] Bruhn J, Föpcke H, Hoeft A. Approximate entropy as an electroencephalographic measure of anesthetic drug effect during desflurane anesthesia[J]. Anesthesiology, 2000, 92:715-726
- [9] Jordan D, Schneider G, Hock A, et al. EEG parameters and their combination as indicators of depth of anaesthesia. Biomed Terol (Berl), 2006, 51: 89-94
- [10] Hornero R, Aboy M, Abasolo D, et al. Complex analysis of intracranial hypertension using approximate entropy[J]. Crit Care Med, 2006, 34: :87-95
- [11] Stam CJ, Jelles B, Achtereekte HA, et al. Investigation of EEG non-linearity in dementia and Parkinson's disease. Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 1995, 95:309-317
- [12] 卞宁艳, 曹洋, 王斌. 基于二阶 C0 复杂度的癫痫发作预测[J]. 生物物理学报, 2007, 23: 67-74

(2007-08-08收稿 2007-11-08修回)

参考文献

- [1] 孔峰, 臧玉萍, 段立超, 等. 精神发育不全的患儿动态脑电图的表现[J]. 中国临床神经科学, 2006, 14:211
- [2] 孔峰, 臧玉萍, 高超. 癫痫发作控制后的脑电图研究报告[J]. 中国临床神经科学, 2007, 15:68-70
- [3] Todt H. The late prognosis of epilepsy in childhood:Results of prospective follow-up study[J]. Epilepsia, 1984:25-137
- [4] 孔峰, 刘俊凌, 吴文乾. 750 例癫痫和非癫痫临床发作的动态脑电图监测[J]. 中国临床神经科学, 2005, 13:385-388
- [5] 孔峰, 臧玉萍, 成春莲. 动态脑电图鉴别假性癫痫发作的临床应用[J]. 中国误诊学杂志, 2003, 3:91-92
- [6] 杨艳微, 叶华, 王耀光. 动态脑电图 节律检测对癫痫诊断价值之初步观察[J]. 2006, 14:402-405

(2007-09-11收稿 2007-10 -23修回)

[文章编号] 1008-0678(2008)01-0060-02

[中图分类号] R742.1