

# 多导人工耳蜗植入后电极阻抗和 ECAP 的变化及意义

刘 敏, 熊观霞, 苏振忠, 陈锡辉, 李广智

(中山大学附属第一医院耳鼻咽喉科医院, 广东 广州 510080)

**摘要:**【目的】观察人工耳蜗植入后不同时间段的电极阻抗和电诱发复合动作电位(ECAP)阈值的变化, 探讨其对调试间隔的指导意义。【方法】对 17 例植入人工耳蜗的患儿术中及术后 30 d 开机时、开机使用 10、20、30、40、50、60、90、150 d 的电极阻抗值和 ECAP 阈值进行观测和分析。【结果】术中和术后 30 d 开机两个时间点与其它各时间点的阻抗值的差异有极显著意义; 第 22 号电极的阻抗值与第 2、4、6、8、10、12 号等电极的差异有显著意义, 余电极间差异无显著性; 电极 2、4、6、8、10、12 等的术中 ECAP 阈值与术后 30 d 开机时的 ECAP 阈值的差异有显著意义。【结论】人工耳蜗植入电极的阻抗在开机使用后 10 d 有急速的下降, 开机使用 30 d 时达最低值, 但 ECAP 阈值的变化不明显; 如果电极的阻抗和 ECAP 阈值在开机使用后 2 个月均变化不大, 可以根据患者的表现适当推迟下次调试的时间。

关键词: 人工耳蜗; 阻抗; 电诱发复合动作电位; 儿童

中图分类号: R78

文献标识码: A

文章编号: 1672-3554(2006)01-0097-04

## Change and Application of Electrode Impedances and Electrically-evoked Compound Action Potentials after Cochlear Implantation

LIU Min, XIONG Guan-xia, SU Zhen-zhong, CHEN Xi-hui, LI Guang-zhi

(The Otorhinolaryngology Hospital, the First Affiliated Hospital, SUN Yat-sen University, Guangzhou 510080, China)

**Abstract:**【Objective】To observe the change of the electrode impedances and the thresholds of the electrically-evoked compound action potentials in different time points after cochlear implantation and to help for deciding the interval of the mapping.【Methods】To test the electrode impedances and electrically-evoked compound action potentials of 17 cases who had accepted the cochlear implantation in different time points: intra-operation, initial stimulation in 30 days after operation, and 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 150 days after initial stimulation.【Results】Compared with the other time points, the electrode impedances were the lowest at intra-operation and the highest at initial stimulation, with statistical significance; There were significant differences in the electrode impedances between the 22nd electrode and the 2nd, 4th, 6th, 8th, 10th, 12th electrodes in different time points. There were significant differences in the ECAP thresholds of the 2nd, 4th, 6th, 8th, 10th, 12th electrodes between intra-operation and initial stimulation.【Conclusion】The impedance had a rapid decrease after initial stimulation, and got the lowest level 10 days later after initial stimulation; but the distinct change of ECAP threshold could not be found; If the electrode impedance and ECAP threshold had tended to maintain stable in two months after initial stimulation, mapping could be postponed according the performance of the patients.

Key words: cochlear implantation; impedance; electrically-evoked compound action potential; children

[J SUN Yat-sen Univ (Med Sci), 2006,27(1):97-100]

人工耳蜗植入已成为重度-极重度感音性聋患者听力康复的重要手段之一。我国目前进行人工耳蜗植入的患者中语前聋的儿童患者占绝大多数, 术后言语处理器的调试是康复的重要部分之一, 但调试间隔时间如何确定需参考多方面因素,

国内外则未见有相关报告。我们通过对资料完整的 17 例 Nucleus 24M 型人工耳蜗儿童植入者的术中和术后半年内不同时间段的电极阻抗和神经反应遥测(neural response telemetry, NRT)电诱发复合动作电位(electrically-evoked compound action

收稿日期: 2005-07-27

作者简介: 刘 敏(1966-), 女, 福建建瓯人, 博士生, 主治医师; 苏振忠, 博士生导师, 教授, 通讯作者。E-mail: min\_liu@126.com

potential, ECAP) 阈值测试资料进行分析, 认为两者的结合应用对决定调试间隔时间有较好的指导作用, 现将结果报道如下。

## 1 资料与方法

### 1.1 临床资料

研究对象来源于 1998 年至 2003 年广州中山大学附属第一医院接受澳大利亚 Cochlear 公司 Nucleus 24 M 型人工耳蜗植入、资料齐全的患儿共 17 例, 其中男 8 例, 女 9 例; 年龄为 1.5~8 岁, 其中 1.5~2 岁 2 例, 2~3 岁 3 例, 3~4 岁 5 例, 5~6 岁 3 例, 6~8 岁 4 例; 均为学语前聋。术前均经听性脑干反应、耳声发射、声导抗和/或纯音测听(游戏测听或视觉强化测听)等检查, 诊断为双耳重-极度感音神经性聋, 配带助听器 3~6 个月以上, 助听后的言语分辨率仍极差; 耳蜗高分辨率 CT 和磁共振检查证实术耳未见有耳蜗畸形, 22 个蜗内电极全部植入。

### 1.2 设备和方法

1.2.1 ECAP 测定 使用澳大利亚 Cochlear 公司 NRT 3.0 版本软件, 对蜗内全部电极自动进行电阻测试, 使用 NRT 技术记录 ECAP。测试时的硬件设备包括 Nucleus 24 型多导人工耳蜗系统和编程接口系统 PPS(portable programming system)。计算机经 PPS 向耳蜗内的某一电极发送刺激信号, 此信号转换成射频脉冲经过皮肤传至植入体内的接收/刺激器, 再经过解码传至耳蜗内的电极, 局部的螺旋神经节细胞受到刺激去极化而产生 ECAP, ECAP 由邻近的记录电极记录后经过植入体内的放大器和数模转换器放大、传输到 PPS, 最后在计

算机上显示出波形, 其阈值单位为电流级(current level, CL)。在使用 NRT 技术进行 ECAP 测试时除延迟时间(delay time)和增益(gain)参数不同外, 其余参数取默认值。

1.2.2 言语处理器调试 7 例患者术前经听觉分辨训练后能采用行为测试进行言语处理器的编程调试; 余 10 例术前未能进行听觉分辨训练, 故只能采用神经反应遥测法得到有关编程参数进行调试, 在开机后即进行训练, 逐步采用行为测试法来确定有关编程参数。全部病例均使用 ACE 编码策略。

1.2.3 电极阻抗和 ECAP 测定时间 所有病例均在术中、术后 30 d 开机时、开机使用后 10、20、30、40、50、60、90、和 150 d 左右的时间段内进行电极阻抗测试、ECAP 阈值测试和言语处理器的调试; NRT 测试常规做序号为偶数的电极, 部分做了全部电极; 电极阻抗测试常规做 4 种回路模式: CG、MP1、MP2 和 MP1+MP2, 由于只有 CG 回路模式可同时显示蜗内电极的短路(<700 )或开路(>20k )情况, 所以我们选择 CG 回路下的阻抗测试结果进行分析。本文只采用序号为偶数的电极阻抗值和 ECAP 阈值进行分析。

### 1.3 统计学处理

使用 SPSS 11.0 软件包对数据进行方差 Levene 齐性检验: 时间  $F = 50.65$ ,  $P < 0.05$ , 电极数  $F = 9.23$ ,  $P < 0.05$ , 方差不齐, 故采用 Tamhane 方差分析,  $\alpha = 0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 偶数电极不同时间点的阻抗值

表 1 不同时间点电极阻抗值

Table 1 The impedances of double electrodes in different time

( $\bar{x} \pm s, R/k$ )

No. electrode	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Intra- operation	2.5 $\pm$ 0.7	2.5 $\pm$ 0.6	2.6 $\pm$ 1.0	2.3 $\pm$ 0.9	3.1 $\pm$ 1.2	3.2 $\pm$ 0.8	3.5 $\pm$ 1.2	3.4 $\pm$ 0.8	3.2 $\pm$ 0.8	3.9 $\pm$ 1.6	5.0 $\pm$ 1.4
Initial stium	5.9 $\pm$ 1.0	5.7 $\pm$ 1.4	5.6 $\pm$ 1.4	5.7 $\pm$ 1.6	6.4 $\pm$ 1.7	5.8 $\pm$ 1.6	6.6 $\pm$ 1.6	7.5 $\pm$ 2.2	6.8 $\pm$ 1.6	6.8 $\pm$ 2.3	7.0 $\pm$ 3.9
10 days later	4.8 $\pm$ 1.1	4.7 $\pm$ 1.2	4.5 $\pm$ 1.0	4.8 $\pm$ 0.9	5.0 $\pm$ 0.9	4.6 $\pm$ 0.7	5.0 $\pm$ 1.0	5.6 $\pm$ 2.6	5.1 $\pm$ 0.9	4.8 $\pm$ 1.2	5.0 $\pm$ 1.1
20 days later	4.9 $\pm$ 1.2	4.7 $\pm$ 1.3	4.6 $\pm$ 0.8	4.9 $\pm$ 1.0	5.1 $\pm$ 1.0	4.8 $\pm$ 0.7	5.1 $\pm$ 0.9	5.2 $\pm$ 0.8	5.1 $\pm$ 0.9	5.3 $\pm$ 1.0	5.8 $\pm$ 0.9
30 days later	4.2 $\pm$ 1.2	4.3 $\pm$ 0.9	4.4 $\pm$ 0.8	4.4 $\pm$ 1.0	4.6 $\pm$ 1.0	4.5 $\pm$ 0.9	4.7 $\pm$ 1.0	4.8 $\pm$ 1.1	4.7 $\pm$ 0.9	4.9 $\pm$ 1.0	5.5 $\pm$ 2.2
40 days later	3.9 $\pm$ 0.9	4.0 $\pm$ 0.8	4.0 $\pm$ 0.3	4.1 $\pm$ 0.7	4.5 $\pm$ 0.7	4.4 $\pm$ 0.5	4.5 $\pm$ 0.3	5.2 $\pm$ 1.1	4.6 $\pm$ 0.5	4.8 $\pm$ 0.8	4.9 $\pm$ 0.8
50 days later	4.7 $\pm$ 1.2	4.7 $\pm$ 1.0	5.1 $\pm$ 0.8	5.3 $\pm$ 1.1	5.4 $\pm$ 1.0	4.9 $\pm$ 1.2	5.1 $\pm$ 1.1	4.7 $\pm$ 1.0	4.8 $\pm$ 1.0	4.6 $\pm$ 0.8	4.8 $\pm$ 1.2
60 days later	4.8 $\pm$ 1.2	4.8 $\pm$ 1.2	4.9 $\pm$ 1.1	5.2 $\pm$ 1.1	5.4 $\pm$ 1.0	4.7 $\pm$ 1.0	5.1 $\pm$ 1.2	4.9 $\pm$ 1.1	5.3 $\pm$ 1.0	4.6 $\pm$ 1.3	5.7 $\pm$ 1.0
90 days later	4.5 $\pm$ 0.6	4.3 $\pm$ 0.8	4.7 $\pm$ 0.7	4.6 $\pm$ 0.6	4.7 $\pm$ 0.8	4.5 $\pm$ 0.9	4.8 $\pm$ 0.8	5.0 $\pm$ 0.9	4.8 $\pm$ 0.8	5.1 $\pm$ 1.0	5.7 $\pm$ 1.8
150 days later	4.6 $\pm$ 1.0	4.8 $\pm$ 1.3	5.0 $\pm$ 1.1	5.0 $\pm$ 1.1	5.0 $\pm$ 1.2	4.8 $\pm$ 1.3	5.0 $\pm$ 1.4	5.2 $\pm$ 1.6	5.2 $\pm$ 1.3	5.1 $\pm$ 0.9	6.0 $\pm$ 1.6

检测发现术中各电极的阻抗均处于低水平, 开机使用后, 电极的阻抗值急剧的下降, 随着时间的延长, 电极的阻抗继续下降, 在开机后 10 d 左右达到最低值; 不同时间点阻抗值的两两比较, 术中和术后 30 d 两个时间点与其它各时间点的阻抗值的差异有统计学意义 ( $P < 0.01$ ), 其余各点间比较结果未发现差异有统计学意义, 不同时间点电极阻抗值见表 1。

## 2.4 相同时间点电极间的阻抗值

电极间的阻抗差异经统计分析显示, 第 22 号

电极的阻抗值与第 2、4、6、8、10、12 号等电极的差异有显著性意义 ( $P < 0.05$ ), 余电极间差异无显著性 ( $P > 0.05$ )。

## 2.5 不同时间点的 ECAP 阈值

在不同时间点, 电极 2、4、6、8、10、12 等的术中 ECAP 阈值高于术后 30 d 时间点的 ECAP 阈值, 其差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 其余各点间的差异两两间比较无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。表 2 表示偶数电极不同时间点的 ECAP 阈值。

表 2 偶数电极不同时间点的 ECAP 阈值

Table 2 The ECAP threshold of double-electrodes in different time points

( $\bar{x} \pm s, I / CL$ )

	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Intra-operation	193 ±5	198 ±3	197 ±6	204 ±5	201 ±8	207 ±14	198 ±6	198 ±6	193 ±10	183 ±9	170 ±9
Initial stium	191 ±14	185 ±10	189 ±6	192 ±9	186 ±13	186 ±14	188 ±10	185 ±12	185 ±12	177 ±11	178 ±10
10 days later	198 ±10	188 ±7	192 ±4	195 ±8	194 ±9	195 ±4	196 ±5	189 ±11	186 ±13	183 ±12	185 ±12
20 days later	192 ±10	190 ±10	193 ±14	189 ±5	188 ±7	188 ±13	187 ±8	188 ±4	184 ±5	175 ±10	174 ±6
30 days later	197 ±9	194 ±10	193 ±7	191 ±13	190 ±13	193 ±14	191 ±15	189 ±15	189 ±12	182 ±18	177 ±9
40 days later	200 ±11	197 ±10	194 ±9	194 ±9	192 ±11	193 ±10	188 ±6	186 ±6	188 ±9	180 ±8	180 ±8
50 days later	192 ±2	189 ±1	189 ±1	185 ±7	188 ±2	192 ±1	189 ±1	182 ±5	182 ±1	176 ±8	170 ±5
60 days later	192 ±9	190 ±11	190 ±10	191 ±11	189 ±13	187 ±19	187 ±27	182 ±32	176 ±24	175 ±20	167 ±19
90 days later	199 ±9	187 ±8	189 ±6	190 ±4	191 ±5	192 ±7	189 ±8	190 ±7	187 ±4	183 ±10	180 ±7
150 days later	197 ±10	194 ±9	194 ±9	195 ±6	194 ±6	196 ±7	196 ±8	192 ±9	190 ±10	186 ±14	181 ±10

CL: current level

## 3 讨论

### 3.1 电极阻抗随时间变化的规律

由表 1 结果可看出术中各电极的阻抗均处于低水平, 统计学分析有显著性意义, 结果与国内外的文献报道一致<sup>[2,3]</sup>, 原因是电极完全处于淋巴液中, 由于淋巴液的导电性好, 故术中的阻抗值低。在手术创伤愈合 1 个月的时间内, 由于电极无电流刺激、淋巴液的成分改变和局部的纤维结缔组织增生等综合因素影响, 在刚开机使用时电极阻抗最高; 开机使用后, 在刺激电流的作用下, 植入电极周围会形成导电性能好的一层离子液态膜, 电极的阻抗值在开机使用后就有一个急剧的下降<sup>[1,2,3]</sup>; 另外我们的还观察到随时间的延长, 电极的阻抗还会逐渐下降, 在手术后 10 d 达到最低值, 提示植入电极间的导电性能在开机后的两个月里呈持续性的提高, 耳蜗内环境与植入电极之间有一个“磨合期”, 之后电极阻抗有缓慢的上升,

在手术后 180 d 时的阻抗值较开机后 10 d 时稍高, 但总体上处于一个较稳定的水平。

统计学分析结果也表明术后 40 d 及以后的各时间点的阻抗值差异并非全部均有显著性意义, 规律性不明显, 提示在术后 40 d 至术后半年时间内电极所处的内环境的相对稳定。我们的结果与国内外的文献报道的结果既有相同点也有不同点, 相同的是我们与上述作者一样均观察到在开机后电极电阻的一个急剧下降过程, 不同的是 Loeb 等<sup>[4]</sup>观察到在开机使用后的数分钟内即有电阻的快速下降, 而 Dorman 等<sup>[2]</sup>观察到电极 1~4 在两个月内有明显下降, 我们观察到的是开机使用后 10 d。这些不同的原因主要是各位作者所选取的观察时间点的不同而造成的, 另外也与言语处理器所采用的编码策略有关<sup>[3]</sup>。

### 3.2 各电极间阻抗的差异比较

相同时间点电极间的阻抗差异比较显示第 22 号电极的阻抗值与第 2、4、6、8、10、12 号等电极的差异有统计学意义, 余电极间差异无统计学意义。

由于第 22 号电极位于蜗顶,其阻抗变化与位于耳蜗底部和中部不同,有作者就认为阻抗是否降低只与电极是否有电流通过及电荷流动有关,而与电极所处的位置无关<sup>[5]</sup>;但 Clark 的动物实验证实电极阻抗的高低与电极周围的炎症反应的强弱有着更密切关系<sup>[6]</sup>。我们推测由于第 22 号电极是整个电极索的末端,它与周围的耳蜗组织是呈“帽子”状的接触,纤维结缔组织增生和由于异物—植入电极所引起的炎症反应也最显著,其次是因为 ACE 编码策略采用的是 MP1+1 的模式,相对与其它非末端的电极而言,第 22 号电极的电流电荷通过量和周围所形成的电磁场相对较弱,故电阻值较高。

### 3.3 ECAP 阈值随时间变化的规律

ECAP 是植入电极电刺激诱发的听神经复合动作电位的近场神经测试技术,阈值的大小与测试时的神经周围环境有关,影响因素主要有:电刺激的电流的大小(电荷量=时间×电流),螺旋神经节神经细胞内外的静息电位、电极周围的淋巴液的成分和电生理特性等。在生理结构上已知越靠近蜗尖部分,鼓阶越狭小,越靠近蜗底部分,鼓阶越粗大<sup>[7]</sup>,电极的阻抗变化在开机后一段时间里渐趋稳定,电极周围淋巴液的改变在使用一段时间后也渐趋稳定,并未见对残余的螺旋神经节神经细胞产生毒性<sup>[6]</sup>。

我们对不同时间点的 ECAP 阈值变化观察的结果显示各电极 ECAP 值的改变规律不明显;不同时间点的 ECAP 值两两比较结果显示,电极 2、4、6、8、10、12 等的术中 ECAP 值与术后 30 d 时间点的 ECAP 值的差异有显著意义,其余各点间的差异两两间比较无显著性意义。这一结果提示位于蜗底和蜗中部的电极的电反应特性改变似乎与蜗顶的不同。按上述的原理,ECAP 的变化规律应遵循于电极阻抗的变化,但我们的实际结果却不同,这可能与环绕电极周围的神经纤维的电生理特性或生物化学分子的变化有关,亦或与我们观

察样本量不够和观察时间不够长有关,值得进一步的研究。

总之,人工耳蜗术后言语处理器的调试间隔时间从植入电极方面,可见在开机后 10 d 已有急速的下降,70 d 达最低值,但 ECAP 阈值的变化规律不明显。我们从使用者的角度考虑,如果电极的阻抗和 ECAP 值在开机后两个月均变化不大,而植入者在听力言语方面又有持续性的进步,则可以适当的推迟下次调试的时间。

### 参考文献:

- [1] PEETERS S, VAN IMMERSEEL L, ZAROWSKI A, et al. New developments in cochlear implants [J]. Acta Otorhinolaryngol Belg, 1998, 52(2):115-127.
- [2] DORMAN M F, SMITH L M, DANKOWSKI K, et al. Longterm measures of electrode impedance and auditory thresholds for the ineraid cochlear implant[J]. J Speech Hear Res, 1992, 359(5):1126-1130.
- [3] 郝 昕, 韩东一, 黄德亮, 等. Nucleus24M 型人工耳蜗植入后电极阻抗的变化 [J]. 临床耳鼻咽喉科杂志, 2003, 17(10):593-595.
- [4] LOEB G E, BYERS C L, REBSCHER S J, et al. Design and fabrication of an experimental cochlear prosthesis[J]. Med Bio Eng Comput, 1983; 21(3): 241-254.
- [5] DE CEULAER G, JOHNSON S, YPERMAN M, et al. Long-term evaluation of effect of intracochlear steroid deposition on electrode impedance in cochlear implant patients[J]. Otol Neurotol, 2003, 24(5): 769-774.
- [6] CLARK G M, SHUTE S A, SHEPHERD R K, et al. Cochlear implantation: osseointegration, electrode-tissue impedance, and residual hearing[J]. Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl, 1995, 166: 40-42.
- [7] SAUNDER E, COHEN L, ASCHENDORFF A, et al. Threshold, comfortable level and impedance changes as a function of electrode-modiolar distance[J]. Ear Hear, 2002, 23: 28-40S.

(编辑 刘清海)