·耳科学·

多通道人工耳蜗使用者电刺激速率辨别与声调识别的关系

魏朝刚　曹克利　王直中　曾凡钢

【摘要】 **目的**　用心理物理学的方法探讨多通道人工耳蜗使用者单个电极速率识别与声调及言语识别的关系,为国人使用多通道人工耳蜗效果的评估及汉语语音编码方案的设计提供依据。**方法**　4 例语后聋成人人工耳蜗使用者参与测试。以 4 个标准频率 50、100、200 和 400 Hz 为基线,对 4 个电极对(E1,E3),(E7,E9),(E14,E16)和(E20,E22)分别用不同频率与 4 个基线间进行刺激率辨别测试。用 25 组 4 个声调共计 100 汉字进行声调识别测试。计算正确识别率,分析正确和错误识别的混淆矩阵,对测试材料进行基频分析。**结果**　速率辨别阈(75.0 %正确率时)个体差异很大,从数 Hz 到上百 Hz。统计学分析显示标准频率、电极位置和患者间差异具有显著性。声调识别正确率为 40 %～80 %,阴平和上声较阳平和去声容易识别。相关分析显示在速率辨别与声调识别间表现出高度相关性。**结论**　人工耳蜗使用者的声调识别依赖于其良好的电极速率辨别。

【关键词】 耳蜗植入物　语音学　音调辨别　电刺激

Rate discrimination and tone recognition in mandarin-speaking cochlear-implant listeners

WEI Chaogang, CAO Keli, WANG Zhizhong, et al. Department of Otorhinoloaryngology, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100730

【**Abstract**】 **Objective**　To explore the relationship between the rate discrimination and the tone recognition with psychophysical method, and provide a basis for evaluating the results from mandarin-speaking cochlear implantees who used multi-channel cochlear implant and designing new speech coding strategies of the speech processor. **Methods**　Four postlingually-deafened adults with cochlear implant participated in this study. We used the method of constant stimuli to measure the rate discrimination as a function of the standard rate at 50, 100, 200, 400 Hz on electrode pairs (E1, E3), (E7, E9), (E14, E16), and (E20, E22), respectively. We also measured tone recognition in 25 consonant-vowel syllables, each of which has four tonal variations, resulting in a total of 100 words. These words were recorded by a male talker and were presented five times each to the implant users via their speech processors. The tone recognition results were scored in overall percent correct and analyzed by error patterns in the confusion matrix and fundamental frequency. **Results**　The rate discrimination thresholds, defined at the 75 % correct level, varied greatly among individuals and ranged from several Hz to hundreds of Hz. A three-way ANOVA indicated significant effect ($P < 0.05$) on rate discrimination for the standard rate, electrode position, and patient variable. The tone recognition ranged from 40 % to 80 % and tones 1 and 3 were more easily identified than tones 2 and 4. Preliminary analysis using linear regression revealed highly significant correlation between rate discrimination and tone recognition. **Conclusion**　These results suggest that identification of tones relies on good rate discrimination in cochlear implant listeners. Clinical rehabilitation strategies in improving rate discrimination were discussed.

【**Key words**】 Cochlear implant　Phonetics　Pitch discrimination　Electric stimulation

近年来随着多通道人工耳蜗语音处理技术的发展,植入患者的言语识别能力得到很大提高。虽然语音处理方案各异,但基本原理都是利用了电听觉的部位编码机制和周期编码机制。

声调是汉语语音学上重要特点之一,具有表达词意的作用。由于声调的不同,同样的音节可以表示不同的意义。梁之安[1]发现当过滤掉言语频谱中 300 Hz～10 kHz 频率而仅保留基频(formant 0, F0)后声调识别仍能达到 94.6 %的正确率。因此在人工耳蜗语音处理方案设计中,研究音调信息对汉语语音识别是非常重要的。

本课题为国家自然科学基金资助项目(39570756)

作者单位:100730 北京 中国医学科学院中国协和医科大学北京协和医院耳鼻咽喉科(魏朝刚、曹克利、王直中);美国洛杉矶豪斯耳研所(曾凡钢)

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

本研究希望通过测试人工耳蜗植入者的特定电极对不同频率电刺激信号的辨别能力,观察其声调识别结果及言语识别使用效果,以了解电刺激率的辨别与言语识别及汉语普通话声调辨别间的影响和关系。

材料及方法

一、受试者

4 例语后聋成人志愿参加本次测试,为在我院接受人工耳蜗植入手术的患者。4 例中男 2 例,女 2 例;年龄 34～59 岁;学历大学 2 例,初中 2 例。耳聋开始年龄 6～24 岁;人工耳蜗植入时年龄 31～56 岁;致聋原因 2 例为药物中毒性聋,2 例原因不明。使用人工耳蜗装置均为 Cochlear 公司生产,体内装置为 CI22M 22 通道系统,体外言语处理器 3 例为 MSP,1 例为 Spectra 22。处理方案例 1、2、4 为 Mpeak,例 3 为 Speak,使用时间 2～30 个月,其中例 3 先使用 MSP 装置的 Mpeak 言语处理方案 20 个月,后 10 个月改用 Spectra 22 装置的 Speak 言语处理方案。例 4 因其它原因,植入装置 9 个月,但实际使用仅 2 个月。

二、电刺激参数

将受试者的体外言语处理器通过计算机接口设备与计算机相连,Cochlear 公司调试软件提供所需的电刺激参数。选用脉冲频率 50、100、200 和 400 Hz 4 个电脉冲作为测试基线频率。以不同的电脉冲分别与基线频率组成电刺激对,如 100 与 106、100 与 112、100 与 124 Hz 等。每对电刺激中基线频率的先后位置随机出现。电刺激的电流强度为最大舒适响度的 80 %,以保证受试者感受音量适中而且舒适。选用电极对(E1、E3),(E7、E9),(E14、E16)和(E20、E22)作为测试电极,E1 为蜗底电极,E22 为蜗顶电极。电极模式为间隔电极刺激,即 E1 与 E3 电极组成电极对,E1 为刺激电极,E3 为参考电极,依次类推。

三、言语测试材料

1. 声调识别测试材料为自编的测试字表,选用汉语 38 个韵母中的 25 个韵母编制成 25 组 4 声调测试用字表。每组由声韵母相同、声调不同的 4 个汉字组成,25 组共计 100 个测试汉字。未收录的韵母主要包括:①与声母组成的音节去声不全;②3 个(-i,er,ê)使用率很低的特殊韵母;③部分辨认难度较大的后鼻韵母。测试时每轮选读每组中的 1 个汉字,100 个测试汉字的声调顺序随机出现。每组 4 声调中仅有 1 个正确答案,答案选择的机会水平为 25 %。语音材料由男声普通话发音,其嗓音平均基频为 140 Hz,记录在磁带上。

2. 言语测试材料选用张华等[2]编制的汉语最低听觉功能测试表(minimal auditory capabilities in Chinese,MACC)。该表包括封闭项列和开放项列共 17 项,封闭项列测试内容为韵母、声母、数词(两位数字),机会选择水平为 25 %。开放项列由 44 个单字词,40 个双字词,20 句安静中短句(94 个关键字),10 句噪声中短句(44 个关键字)和 14 种环境声音组成。

四、测试程序:

1. 频率辨别阈测试:通过软件设定的电脉冲分别刺激前述选定的电极对,以设定的 4 个电脉冲频率为基准频率,用相近的频率与之配对,让受试者进行频率辨别。频率辨别的机会水平为 50 %。每个基准频率所完成的测试频率对应不少于 5 对,每对测试频率重复 50 次,计算正确辨别率。须获得 50 %和 100 %附近及中间段的正确辨别率的数值。最后计算当正确辨别率为 75 %时,各基准频率的辨别阈值和函数斜率。

2. 言语测试:在安静的实验室内进行,用录音机播放磁带,扬声器放音。扬声器与受试者耳后话筒相距为 1 m。音量调至舒适响度,以受试者自述清晰无失真为准。言语材料播放 2 次,间隔 3 s,保证受试者有足够回答时间。声调识别和 MACC 测试重复 5 次,取平均值为该受试者的识别结果。声调和 MACC 封闭项列的识别结果与标准答案完全一致时记为正确识别,开放项列则由受试者复述所听内容,单字词和双字词以准确复述记为正确,短句则以句中关键词为记分依据,也以准确复述记为正确识别。

每个受试者分数天完成全部测试内容,每次测试不超过 3 h,中间辅以休息。受试者言语处理器上的各项参数保持原来所用不变。测试前给予指导和练习,至理解和熟悉方法后方进行正式测试。测试中不给受试者提供结果反馈。

五、结果分析

测试结果用 t 检验和直线相关等统计学方法进行检验和分析。录制的声调材料使用北京邮电大学研制的 VOICE 软件进行基频和时长分析。我们选用最初 F0、最末 F0 两者间最大 F0 和/或最小 F0 等数值,据此计算每个声调的平均基频跨度和时长。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

F0 变化跨度是指最初 F0 与最末 F0 代数差的绝对值。但上声的 F0 跨度,是用最初 F0 及最末 F0 与最小 F0 间差的绝对值再平均来表示。时长是指最初 F0 与最末 F0 间的时程。

结　果

1. 刺激率:4 例受试者中表现出随基线数值的增加,75 %正确辨别率的测试频率与基线频率的差别(Δf)也逐步增加,4 例受试者在 4 个测试基线的 Δf 平均值和标准差($\bar{x}$ ±s,下同)分别是(27.1 ±13.0) Hz,(55.8 ±43.2) Hz,(85.3 ±61.3)和(173.7 ±114.0) Hz,经统计学检验(t 检验),除 100 Hz 和 200 Hz 间差异无显著性外,其余各基线的 Δf 间差异有显著性(P < 0.01)。4 例不同速率及电极位置平均 Δf,例 1 为(90.0 ±74.3) Hz,例 2 为(53.3 ±61.5) Hz,例 3 为(34.1 ±24.6) Hz,例 4 为(132.8 ±111.0) Hz,t 检验显示例 4 与另 3 名受试者间差异均有显著性(P < 0.01),而其他受试者间差异无显著性。不同电极位置速率辨别时,各电极的均值和标准差 E1 为(71.4 ±94.0) Hz,E7 为(38.7 ±54.4) Hz,E14 为(88.7 ±104.7) Hz,E20 为(116.5 ±98.6) Hz,t 检验显示各电极对间差异无显著性。基于以上分析,我们认为,在 400 Hz 脉冲率内,脉冲率越高,辨别频率差异时所需的频率差别也越大,耳蜗中不同电极部位的 Δf 变化各人表现不一,未见明显规律。

4 例受试者对不同电脉冲率辨别的结果显示,最优的例 2 的不同电脉冲率辨别结果表现特殊,4 条基线的平均 Δf 分别为(22.5 ±4.7) Hz,(10.3 ±5.9) Hz,(66.8 ±28.9) Hz 和(196.9 ±149.5) Hz,而 100 Hz 的 Δf 最小,且与其它 3 个基线间差异有极显著性(P < 0.01)。但另 3 名受试者并未表现出此特点,他们的均值遵循逐步增加的规律。4 例受试者不同电极部位的 Δf 未见明显规律,不同脉冲率时最小 Δf 不同病例可出现在不同的部位电极上。

2. 言语测试:受试者用 MACC 表进行言语测试的结果见表 1。

从表中可以看出,各受试者封闭项列的测试结果较接近,例 2 的结果略好于其他受试者,而例 4 为最差者。在本组受试者中特别表现出对数词识别的很高分辨能力,正确识别率为 80 %～100 %(平均值为 93 %)。而开放项列的测试结果受试者间差别较大,从例 2 的完全识别到例 4 的几乎不能识别。

3. 声调测试:声调测试的结果见图 1。平均正确识别率例 1 为 67.4 %,例 2 为 70.2 %,例 3 为 71.4 %,例 4 为 51.0 %。除应用效果较差的例 4 外,其余 3 例受试者的结果较接近。从本组结果来看,即使是最优使用者例 2 其声调识别率也难达到很高,这可能是封闭项列测试结果上界局限的原因。对 4 例受试者的声调正确率。识别率与电刺激率辨别能力进行相关分析,50、100、200 和 400 Hz 的相关系数分别为 0.9143、0.9695、0.8779 和 0.6934。

表 1　受试者 MACC 测试正确识别率(单位:%)

患者	封闭项列			开放项列			
	元音	辅音	数字	单字词	双字词	短句(安静)	环境声
例 1	69.4	76.2	96.0	40.9	36.7	61.0	54.8
例 2	88.9	90.2	100.0	79.6	95.9	97.3	80.9
例 3	59.0	85.7	97.3	41.1	31.2	37.5	69.0
例 4	46.5	50.0	80.0	8.1	2.5	3.2	14.0

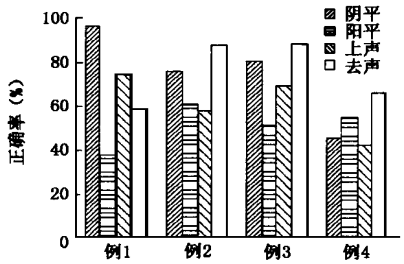

图 1　受试者 4 声调正确识别率

4 例受试者对声调识别刺激和反应的特点是:1～4 个声调的平均正确识别率分别为 75.3 %、50.3 %、61.3 %和 75.2 %。去声和阴平的识别要较阳平和上声为好,最差的是阳平。说明去声和阴平容易辨别。对刺激作出错误反应的构成比中,阴平占 35.8 %,阳平占 30.9 %,上声占 20.7 %,去声占 10.9 %,未判断占 1.6 %。刺激为阴平时,错误反应主要表现为阳平和上声;刺激为阳平时,错误反应表现为阴平和上声为多;刺激为上声时,错误反应为阳平较多;刺激为去声时,错误反应以阴平较多。误判为去声的最少,这与去声识别率最高相对应;误判为阴平最多,阳平和上声间容易混淆,4 例受试者的结果基本都符合这个规律。

4. 基频分析:应用专用软件(VOICE)对声调测试的 100 个汉字进行了 F0 和时长分析,根据前述方法,阴平、阳平、上声和去声的 F0 变化跨度的均值和标准差分别是:(39.5 ±35.0) Hz,(64.8 ±41.1) Hz,(80.1 ±38.9) Hz 和(85.1 ±55.1) Hz。时长的均值和

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

标准差分别是:(0.63 ±0.22) s,(0.68 ±0.07) s,(0.72 ±0.10) s 和(0.48 ±0.08) s。

讨　论

Dorman 等[3]对人工耳蜗使用者的频率辨别与言语识别间关系进行测试,发现如果受试者感知频率变化的频率范围较广(100 Hz～3 kHz)时,言语识别率高,感知频率范围较窄(100Hz～1.0 kHz 以内)时则言语识别率低。因此推断受试者对频率变化的辨别能力与言语识别有关。Dorman 等[4]用 125～3 900 Hz的纯音对人工耳蜗使用者进行测试,结果表明多数受试者在第 1 共振峰(formant 1, F1)频率范围内的有较好的频率辨别力,言语识别好的受试者对 F1 频率范围内的频率辨别阈约为 200 Hz;第 2 共振峰(formant 2, F2)范围内的频率辨别阈为 300 Hz。对这些受试者的频率辨别与言语识别(CID-A 短句,杨杨格词,NU-6 词,辅音和元音)间的相关分析均表现差异有显著性($P < 0.001$)。说明人工耳蜗植入者对特定声音频段的分辨能力与言语识别水平有关。

声刺激诱发的听觉感知与电刺激诱发的听觉感知是通过不同机理而产生作用的。电刺激诱发的音调和音色感知是耳蜗植入者在理解语言和其它声音信号的最重要所在[5]。但这种电听觉感知与正常耳蜗对频率的初级分析原理并不相同,如用 100 Hz 脉冲电信号刺激基底膜的某一高频频段时(如 2 kHz),此时电听觉的音调感知是 1 个高频音调,但不一定是 2 kHz。众所周知,耳蜗对声音频率的分析是由螺旋神经纤维放电的时间方式和兴奋的空间方式所决定,在电刺激时,刺激时间的构成是由电刺激频率或脉冲率决定,空间的构成是由植入耳蜗内电极的几何构型和部位决定。Blamey 等[5]推测脉冲率与音调识别有关,而电极位置与音色识别有关。Bilger[6]用电刺激耳蜗与声刺激所诱发的音调进行了匹配研究,发现低于 160 Hz 的电脉冲刺激可与正弦波的声刺激所产生的音调感知相匹配。Eddington 等在局部麻醉下用 200 Hz 电信号刺激志愿者,电刺激耳蜗深度 25 mm 和 19 mm 处时能分别产生同 1.5 和 2 kHz 相匹配的音调感受。这些研究显示当电脉冲率增加和/或电极位置自蜗顶向蜗底移动时,获得音调上升的感受,但当电脉冲率超过 300 Hz 以后该作用减弱或消失。

汉语声调的变化主要是基频的变化,通过基频就能识别声调 90 %以上[1]。本组 4 例受试者的声调识别中存有差距,识别率最低的是例 4,而另 3 例间差距较小。例 4 与最高识别率间相差 20 %。统计学分析结果显示,例 4 同其他 3 例受试者之间差异有显著性,而其他 3 例之间差异无显著性,提示不同部位的电刺激脉冲率的辨别力可能与声调识别有关。

对电刺激率辨别能力与声调识别进一步研究时发现两者间呈负相关,即电刺激率辨差越大,声调识别率越低。但 4 条电刺激基线相关系数并不一致,与 100 Hz 的相关性最密切,其次是 50 Hz,最次是 400 Hz。同时本组最优者例 2 在电刺激频率辨别测试中,表现 100 Hz 基线的频差最小,开放言语识别能力非常良好,这也进一步说明对 100 Hz 左右电刺激的良好辨别能力决定了言语识别水平。这种相关性反应了电刺激率变化的辨别能力决定了声调识别水平,并且主要是受特定范围的脉冲率所影响,这与声音刺激的音调辨别与特定范围的频率相关是相似的。

Cochlear 公司的 Mpeak 语言处理方案,主要特点是提取基频(F0)、第 1 共振峰(F1)和第 2 共振峰(F2)频率,在对言语进行编码时基频决定着电脉冲率,共振峰频率决定刺激耳蜗神经的电极部位。在元音或浊辅音音节时,电刺激率等于基频(F0)。因此当受试者对电脉冲率具有良好识别能力时,就间接表明其对基频的良好识别。汉语声调主要是由基频所决定的,我们用于声调测试材料是由男性发声,其平均基频在 140 Hz 左右,当受试者对 100 Hz 左右电脉冲率辨别良好时,说明他能比较好的辨别基频的频率变化,从而能较好的识别声调。这就可以解释为什么声调识别与 100 Hz 左右的电脉冲辨别相关性最密切,而与 400 Hz 相关性差。

4 例受试者中去声和阴平识别好,阳平和上声差。去声的基频变化最大,平均跨度为 85 Hz,时程也最短仅 0.48 s,因此去声单位时间基频变化速率最大。所以受试者对去声的识别较其它声调容易,其正确识别率明显高于阳平和上声。而阴平的基频最小,其识别可能并不是对 F0 变化作精细判别而获得的,因此判断其有无变化要较判断变化程度难度为小,所以阴平调的识别率也高于阳平和上声。再者当受试者未能辨别出其它声调的 F0 变化时,误认为 F0 无变化而将其判断为阴平,所以本组受试者的阴平正确识别率高,同时错误反应为阴平比例最高

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

也支持这一观点。阳平的 F0 变化跨度仅次于阴平,由于变化小,受试者辨别的难度也就最大,所以阳平的正确识别率为本组最低。同时它的时长与阴平的时长相接近,这样就不难理解为什么刺激是阳平时,误判为阴平的比例最高。

本研究测试对象使用 Cochlaer 公司 Mpeak 和 Speak 语言处理方案的人工耳蜗装置,其处理方案所用的电刺激率在 400 Hz 以下。采用这种低电刺激率是依据经典神经电生理理论,耳蜗神经仅能对数百 Hz 低频电刺激提供时间编码。但这种理论存在争议。Hochmair 等在单通道人工耳蜗患者中发现,去除 900 Hz 以上成分,语言识别率下降,加入高频成分后,患者对电刺激的识别能力提高。近年使用的连续间隔采样言语处理方案发现,单个电极的电刺激率超过 1 000 Hz,使用该处理方案的人工耳蜗患者也获得很好的语言识别,有人认为对单电极的高速率刺激可较多的保留时间信息。从使用人工耳蜗的临床效果看,基于部位编码的言语特征提取方案和基于速率编码的连续间隔采样言语处理方案都获得较高的言语识别率。因此听觉系统对电刺激的时间编码机制目前并不十分清楚,进一步的研究不仅将围绕着低频电刺激机制,而且还要对高频电刺激机制来进行。

参 考 文 献

1 梁之安. 汉语普通话中声调的听觉辨认依据. 生理学报, 1962, 26: 85-87.

2 张华, 曹克利, 王直中. 汉语最低听觉功能测试的设计与初步应用. 中华耳鼻咽喉科杂志, 1990, 25: 79-81.

3 Dorman MF, Smith L, McCandless G, et al. Pitch scaling and speech understanding by patients who use the ineraid cochlear implant. Ear Hear, 1990, 11: 310-315.

4 Dorman MF, Smith LM, Smith M, et al. Frequency discrimination and speech recognition by patients who use the Ineraid and continuous interleaved sampling cochlear-implant signal processors. J Acoust Soc Am, 1996, 99: 1174-1184.

5 Blamey PJ, Dooley GJ, Parisi ES. Pitch comparisons of acoustically and electrically evoked auditory sensations. Hear Res, 1996, 99: 139-150.

6 Bilger RC. Psychoacoustic evaluation of current prostheses. Ann Otol Rhinol Laryngol, 86 (Suppl 38): 92-97.

(收稿: 1998-09-15　　修回: 1999-01-19)

(本文编辑: 何膺远)

病例报告

喉气管内甲状腺一例

唐世雄　肖新华　邬佩云

患者男, 23 岁。自幼打鼾, 鼾声巨大, 平卧呼吸困难 7 年, 无进行性加重。于 1998 年 3 月 5 日入院。患者自幼易"感冒"咳嗽, 在多家医院按"慢性支气管炎"治疗, 用过多种抗生素及中药, 疗效不佳。检查: 发育正常, 营养中等, 胸廓无畸形, 心、肺正常, 去枕平卧位时有轻微吸气性呼吸困难, 无声嘶。鼻、咽、声门上区及声带正常, 声门下左后侧可见淡红色隆起, 表面光滑, 声门下狭窄。甲状腺 I度, 无结节, 气管居中, 颈部淋巴结无肿大。纤维咽喉镜检查: 声门下区左后壁及气管内广基肿块, 表面光滑, 淡红色, 上界距声带约 3 mm, 下界达第 4 气管环水平。CT 扫描: 声门下区及气管上段见一类圆形软组织密度肿块, 偏居腔内左后壁, 边缘光滑, 密度均匀, CT 值 47.6 Hu, 大小约 2.0 cm ×1.6 cm, 增强后肿块明显强化, CT 值 72 Hu (图 1)。食管吞钡透视: 钡剂通过顺畅。

1998 年 3 月 7 日局部麻醉下行低位气管切开术、气管插管全身麻醉下行喉气管裂开肿块切除术。术中见肿块质软, 边界清楚, 基底主要在喉气管腔内左后壁, 约 4.5 cm ×1.6 cm ×1.2 cm 大小, 纵行切开肿块表面粘膜, 肿块呈红色, 易分离, 质软, 切取一块送冰冻切片, 病理报告为甲状腺。将环状软骨弓前部作"∩"形切除, 保留弓上缘的完整连续性, 借助 0 度鼻内窦镜将肿块从声门下区粘膜下及环状软骨内面分离, 然后直视下分离气管内部分, 肿块与环状软骨及喉气管粘膜附着疏松, 但与气管左后壁粘连紧密, 通过环状软骨与第 1 气管环间和第 1、2 气管环间肿块与左侧甲状腺侧叶相连, 易出血, 摘除肿块后以双极电凝止血。用 5-0 无创缝线间断缝合喉气管粘膜切口, 留置水囊于喉气管内, 以防止粘膜下出血、积液和肉芽组织增生。水囊尾线经气管切开口引出, 缝合颈部切口。自主呼吸恢复后拔除麻醉气管插管, 改换直径 10 mm 气管套管, 将水囊尾线固定于套管侧孔。第 5 天拔除水囊, 第 10 天作纤维喉镜检查, 见声门下区及气管内无肿块, 伤口愈合, 堵管后呼吸平稳, 第 11 天拔管, 颈部伤口愈合, 症状消失出院。随访至今无鼾症、声嘶及呼吸困难。

作者单位: 425008 湖南省永州市人民医院耳鼻咽喉科 (唐世雄、邬佩云), CT 室 (肖新华)

(本文图 1 见插页第 12 页)

(收稿: 1998-10-10　　修回: 1999-01-10)

(本文编辑: 包务业)

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net