# 听觉诱发电位综合报告

## 概述

听觉诱发电位（auditory evoked potential，AEP）是指在一些瞬态声音刺激下，在一定的时程之后在神经系统中产生的一系列电信号。[[1]](#endnote-1)在电极位置上可以分为近场记录电位、远场记录电位；按照刺激方式可以分为瞬态反应和稳态反应；按照反应潜伏期长短可以分为短潜伏期反应（short-latency response, SLR, <10s）、长潜伏期反应（long latency response, LLR, >50s）和中潜伏期反应。1在本篇中，我们主要从在听觉诱发中的脑干电位在远场（头皮）上的投射作为论述对象，讲述脑干听觉诱发电位的原理、检测设备组成、临床应用、历史以及研究现状。

脑干听觉诱发电位（brainstem auditory evoked potential，BAEP）在1970年首次被Jewett et al.描述，[[2]](#endnote-2)在当时被定义为一系列的由听觉刺激诱导的，起源在脑干中的，由头顶区记录的一系列波形。BAEP也被称为听觉脑干反应（auditory brainstem responses，ABR）、脑干听觉诱发反应（brainstem auditory evoked response，BAER）、短延时听觉诱发电位（short-latency auditory evoked potentials）等。

## BAEP波形的生理学原理

在图1中我们可以看到，BAEP的波形在时程上可由SP波至Ⅶ波的各个波形描述，有众多文献证明，这些不同的波形在生理上对应不同的电信号机理，在接下里的一部分，我们将深入解析各个波形背后的生理内容。

文本

描述已自动生成

图1. BAEP的各个波形

Ⅰ波之前有一个负向的SP波，它主要由在耳蜗附近的发细胞产生的电势加和构成，距耳蜗较远处的发细胞同样对这部分电位变化产生影响。[[3]](#endnote-3)在人体Ⅷ神经的外科手术记录证实了Ⅰ波来源于在耳蜗附近的远端听神经的动作电位或与毛细胞相连接的听神经树突的突触后电位。

Ⅱ波的生理形成相对具有一定争议。Scherg 和 Von Cramon觉得其代表了听神经由颞叶到脑干的电流变化，指示着内耳门的电不均匀性。[[4]](#endnote-4)而Moller等人在一系列研究中证实在术中脑干附近记录的听觉诱发电位和Ⅱ波相对应，验证了前面Scherg等人的观点。[[5]](#endnote-5)[[6]](#endnote-6)[[7]](#endnote-7)另一方面也有人认为这部分电位变化来源于在耳蜗核团中的电位变化。[[8]](#endnote-8)[[9]](#endnote-9)由于这两个不同的观点，Ananthanarayan等人提出Ⅱ波并非是单一信号源产生的电信号，而是由多个发生位点共同产生的。[[10]](#endnote-10)

Ⅲ波的产生同样有两个来源，一个信号来源于腹侧耳蜗核，另一个来自斜方体和上橄榄复合体。[[11]](#endnote-11)在Stockard和Rossiter的实验中，破坏了脑桥而斜方体区、上橄榄复合体不受影响后的听觉诱发电位Ⅰ到Ⅲ波正常产生，但是将这两个区域纳入损坏范围，则Ⅲ波发生异常，[[12]](#endnote-12)因此Ⅲ波的产生和脑干有着紧密的联系。

波Ⅳ和波Ⅴ产生的机理没有非常明确的解释。在一些实验中，外侧丘系损毁对这两个波形的影响较大。[[13]](#endnote-13)猫体实验证明，波Ⅴ的峰值在外侧丘系产生，并在下丘终止。[[14]](#endnote-14)而波Ⅳ来源于双侧上橄榄核和下丘，或者脑桥平面的外侧丘系中或邻近结构。[[15]](#endnote-15)实际上在模型中，波Ⅳ和波Ⅴ紧密连接，而波Ⅴ主要受到来自同侧或者对侧的上橄榄复合体、腹外侧丘系和下丘的信号叠加产生。[[16]](#endnote-16)

而波Ⅵ与波Ⅶ的生理意义则更加不明确。Hashimoto等人提出波Ⅵ来源于内侧膝状体。[[17]](#endnote-17)而波Ⅶ则可能来源于丘脑和皮层间的听放射。[[18]](#endnote-18)

在这一部分，我们根据前人的研究，从生理学意义上解析了各个波形。总结上来讲，Ⅰ波和第Ⅷ神经元的活动紧密相连，来源于蜗神经近蜗端；Ⅱ波与耳蜗核团、蜗神经近脑端的结构有关；Ⅲ波与耳蜗核、斜方体、上橄榄复合体有关；Ⅳ波和Ⅴ波与外侧丘系、下丘等结构有关。在了解这波形不同分段中对应的生理学原理，我们就可以很方便的通过监测BAEP反推关于生理状况的一些指征，从而达到诊断学的意义。

## BAEP检测的电子原理

在前面我们已经阐述了BAEP的产生的生理学依据，其不同的峰值对应了不同时段在不同脑结构中产生的电位变化。有了这些生理学内容之后，我们需要解析在硬件层面上我们如何检测这些信号的存在，并通过一定的方式减少噪声的干扰。

图示

描述已自动生成

图2. BAEP测量结构

在图中可以看到，整个体统结构可以被分为主机、输出（刺激器）、人体、输入（采集设备）组成。

在刺激器方面，为了消除一侧耳刺激时的信号对对侧耳的影响，采用白噪声对对侧耳进行掩噪。因此在PC机判断要产生一个刺激时，主信号源和白噪声同时发生作用，主信号源产生的刺激类型、刺激幅值、刺激声道受到PC机控制。刺激需要经过一个低失真、低噪声的功率放大器再外接到刺激设备，如耳机上，对被试进行刺激。

BAEP的采集中，电极位于额叶收集信号，对于电极要求低阻抗来适应较小的电压变化。在采集到信号之后就会进行光电隔离的操作，保证人体的安全性。此后电路要经过一个高阻抗、低温漂、低阻抗的差动放大器进行前置放大，而后通过带通滤波器滤除基线漂移，通过低通滤波器滤除肌电和高频自发脑电。此时的电信号依旧非常微弱，需要经过主放大电路进行放大，而后通过A/D转换器进行转换，数字信号经过串口进入PC机。

可以看到，BAEP检测较为简单，只需要简单的数级放大器和接收、发声装置即可，但是由于接收到的信号十分微弱，对放大电路和电极都有着较高的要求。

## BAEP的发展历史**[[19]](#endnote-19)[[20]](#endnote-20)**

1924年，德国精神科医生Hans Berger首次在颅骨损伤病人的大脑皮质和正常人的头皮上首次记录了人脑的电场，并命名为脑电图（Electroencephalography，EEG）。同年，其发现在声音刺激后，脑电波被抑制。1927年，Forber用短声刺激诱发了神经冲动。1932年Davis在电极植入脑之后，通过耳机监听到不清楚的词语。而在1937年开始，K复合波由于其声音刺激诱导产生的原因，被P.A.Davis运用来综合评价听力，构成了第一篇皮层诱发电位的报告。Dawson在1954年首次研制成功了诱发电位累积装置，为AEP的检测奠定了更好的技术基础，而在数年后的1958年，人类对短声的听觉诱发刺激就被Geisler用计算机记录出来。而在此之后，在不同情况下的听觉诱发电位多次被报道，在1969年，国际点反应测听学会正式成立为听力学的一个分支。而BAEP的正式测量在1970年被Jewett首次报道，在当时，在头皮记录的短潜伏期诱发电位被认为来自于脑干。而这个技术在很快之后就投入了使用，在1971年Tewett就使用ABR测试了婴儿的听力。而在三年后的1974年，这个技术就被投入市场，在听力学、耳科、神经耳科等多个学科发挥了重要作用。

## BAEP的临床应用

在前面已经说到，BAEP在1970年Jewett首次使用报道之后就在很短的时间内就被投入商用或医用了。根据前面的生理学解释，我们可以看到BAEP的主要价值集中在两个点上。其一，BAEP的波形情况表征了一种评估耳蜗、第八神经元和脑干等脑组组织的功能的客观评价因素。其二，这种测试不需要被试的主管测试，而是一种纯粹的生理学反应。也因为这些原因，我们可以将BAEP的临床使用归纳在如下的几种情况中：婴幼儿的听觉检测；术中的听觉检测，以及时反馈手术对耳蜗、脑干和第八神经元等组织的损伤；在不配合的病人群体或功能习惯听觉损失的病人群体中测试听觉损失情况；测试药物的耳毒性；测试听觉系统在中枢神经紊乱中的激发情况。[[21]](#endnote-21)我们接下来将会较为详细得分述这几个功能。

根据上面所描述的，BAEP的测试并不需要被试的主观配合，相反，在被试睡着或无意识时，测试能得到更准确的结论。现在的各个组织都较为担心幼儿听力损伤对幼儿成长的伤害，[[22]](#endnote-22)而已经有研究证明了尽早得调查和植入矫正设备，对儿童的伤害也就越低。[[23]](#endnote-23)同时BAEP的测试和相对于表现听觉测试也有更高的可信度，因此被推荐为测试听觉状态的方法之一。[[24]](#endnote-24)

同样由于BAEP不需要被试的任何主动反应，其可以在术中用来检测病人对于声音刺激的反应，从而检测与BAEP强关联的数个脑组织，如耳蜗、第八神经元和脑干等在术中有没有受到损伤，从而可以做出及时地反映，避免更大的损伤。同样由于这些原因，BAEP的测试可以被用在镇定后的病人身上，或者用来检测功能性耳聋，也可以得到很好的效果。而在耳毒性的药理研究中心，BAEP也因此发挥重要作用。

BAEP不仅在这些方面发挥着作用，同时其波形的状态和变化对研究神经系统异常和脑组织结构问题等也有着非常重要的意义。例如其被推荐为标准的听神经抑制检测方法。[[25]](#endnote-25)

就目前而言，BAEP已经不再被用来监测脱髓鞘问题、听神经附近的肿瘤等，但是他们在耳神经科还发挥这巨大的作用，被用来监测听觉系统完整性和失聪的客观监测方式。

1. Alan D. Legatt, *Brainstem Auditory Evoked Potentials Methdology, Interpretation, and Clinical Application*, Aminoff’s Electrodiagnosis in Clinical Neurology, Six edition, 2012. [↑](#endnote-ref-1)
2. Jewett, DL, Romano, MN and Williston, JS (1970) Human auditory evoked potentials: possible brain stem components detected on the scalp. Science, 167: 517–1518. [↑](#endnote-ref-2)
3. Zheng, XY, Ding, DL, McFadden, SL and Henderson, D(1997) Evidence that inner hair cells are the majorsource of cochlear summating potentials. Hear. Res.,113: 76–88. [↑](#endnote-ref-3)
4. Scherg, M and Von Cramon, D (1985) A new interpretation of the generators of BAEP waves I–V: results of a spatiotemporal dipole model. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., 62: 290–299. [↑](#endnote-ref-4)
5. Moller,A and Jannetta, PJ (1983) Interpretation of brainstem auditory evoked potentials: results from intracranial recordings in humans. Scand. Audiol., 12: 125–133. [↑](#endnote-ref-5)
6. Moller, AR, Jannetta, PJ and Sekhar, LN (1988) Contributions from the auditory nerve to the brain-stem auditory evoked potentials (BAEPs): results of intracranial recording in man. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., 71: 198–211. [↑](#endnote-ref-6)
7. Moller, AR, Moeller, MB, Jannetta, PJ and Jho, HD (1991) Auditory nerve compound action potentials and brainstem auditory evoked potentials in patients with various degrees of hearing loss. Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.,100: 488–495. [↑](#endnote-ref-7)
8. Achor, LJ and Starr, A (1980a) Auditory brain stem responses in the cat. I. Intracranial and extracranial recordings. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., 48: 154–173. [↑](#endnote-ref-8)
9. Achor, LJ and Starr, A (1980b) Auditory brain stem responses in the cat. II. Effects of lesions. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., 48: 174–190. [↑](#endnote-ref-9)
10. Ananthanarayan, A and Durrant, JD (1991) On the origin of wave II of the auditory brainstem evoked response. Ear Hear., 12: 174–179. [↑](#endnote-ref-10)
11. Scherg, M and Von Cramon, D (1985) A new interpretation of the generators of BAEP waves I–V: results of a spatiotemporal dipole model. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., 62: 290–299. [↑](#endnote-ref-11)
12. Stockard, JJ and Rossiter, VS (1977) Clinical and pathological correlates of brainstem auditory response abnormalities. Neurology, 27: 316–325. [↑](#endnote-ref-12)
13. Achor, LJ and Starr, A (1980b) Auditory brain stem responses in the cat. II. Effects of lesions. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., 48: 174–190. [↑](#endnote-ref-13)
14. Mller, A andMller, AR (2010) Intraoperative Neurophysiological Monitoring. Springer, New York, 656 pp. [↑](#endnote-ref-14)
15. 《生物医学工程检测原理和基础实验》 P113 [↑](#endnote-ref-15)
16. Scherg, M and Von Cramon, D (1985) A new interpretation of the generators of BAEP waves I–V: results of a spatiotemporal dipole model. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., 62: 290–299. [↑](#endnote-ref-16)
17. Hashimoto, I, Ishiyama, Y, Yoshimoto, T and Nemoto, S (1981) Brain-stem auditory-evoked potentials recorded directly from human brain-stem and thalamus. Brain, 104: 841–859. Hecox, KE and Cone [↑](#endnote-ref-17)
18. 生物医学工程检测原理和基础实验》 P113 [↑](#endnote-ref-18)
19. 《生物医学工程检测原理和基础实验》 P114 [↑](#endnote-ref-19)
20. 李兴启，卢云云：《听觉诱发电位（AEP）的神经生物学基础及临床应用（1）》，《听力学及言语疾病杂志》，2004年第6期，第435-435页 [↑](#endnote-ref-20)
21. Gastone G. Celesia, *Brainstem auditory evoked response,* Handbook of Clinical Neurophysiology, Vol10, 2013, P138. [↑](#endnote-ref-21)
22. U.S. Preventive Services Task Force (2008) Universal screening for hearing loss in newborns: Us preventive services task force recommendation statement. Pediatrics, 122:143–148. [↑](#endnote-ref-22)
23. Moeller, MB (2000) Early intervention and language development in children who are deaf and hard of hearing. Pediatrics, 106: e43. [↑](#endnote-ref-23)
24. American Academy of Pediatrics, Joint Committee on Infant Hearing (2007) Position statement: principles and guidelines for early hearing detection and intervention programs. Pediatrics, 120(4): 898–921. [↑](#endnote-ref-24)
25. Lisowska, G, Namyslowski, G, Morawski, K and Strojek, K(2001) Early identification of hearing impairment in patients with type 1 diabetes mellitus. Otol. Neurotol., 22: 316–320. [↑](#endnote-ref-25)