

DOI:10.11798/j.issn.1007-1520.202322486

· 综述 ·

# 人工耳蜗植入术残余听力保留现状和研究进展

胡恒坤<sup>1,2</sup>, 赵斯君<sup>1,2</sup>, 黄敏<sup>1,2</sup>

(1. 南华大学儿科学院, 湖南 长沙 410007; 2. 湖南省儿童医院耳鼻咽喉头颈外科, 湖南 长沙 410007)

**摘要:**随着手术方法和电极设计等技术的创新,人工耳蜗手术取得了一定的进步,使患者残余听力得到一定的保留。所有手术方法的共同目标即是:保护耳蜗内结构,保留残余听力,以提高听觉言语能力。人工耳蜗术后残余听力的丧失被认为是多种因素的结果,近年来,为获得更好的残余听力保留,人们在电极设计与选择、新型电极涂层、围手术期药物治疗、机器人辅助、图像和电生理引导等方面的研究有了新的突破,对于残余听力的保护有了很大程度的提高。本文将对人工耳蜗术后残余听力保护相关因素的进展作一综述。

**关键词:**人工耳蜗植入术;声电刺激;听力保护;残余听力

**中图分类号:**R764.5

## Current status and research progress of residual hearing preservation after cochlear implantation

HU Hengkun<sup>1</sup>, ZHAO Sijun<sup>1,2</sup>, HUANG Min<sup>1,2</sup>

(1. the School of Pediatrics, Hengyang Medical School, University of South China, Changsha 410007, China; 2. Department of Otolaryngology Head and Neck Surgery, Hunan Children's Hospital, Changsha 410007, China)

**Abstract:** With the improvement of surgery methods and the advancement of electrode design and other technological innovations, certain progress has been made in cochlear implant surgery, so that residual hearing can be preserved. The common goal of all surgical methods is to protect the internal structure of the cochlea and retain residual hearing in order to improve auditory speech ability. The loss of residual hearing after cochlear implantation is considered to be the result of many factors. In recent years, in order to obtain better residual hearing preservation, new breakthroughs have been made in the research of electrode design, new electrode coating, perioperative drug therapy, robotic assistance, image guidance, and the protection of residual hearing has been greatly improved. This review will review the progress of factors associated with residual hearing protection after cochlear surgery.

**Keywords:** Cochlear implantation; Electroacoustic stimulation; Hearing preservation; Residual hearing

听力损失是人类最为常见的感觉神经障碍。对于轻度到中度感音神经性聋的患者,常规助听器可以帮助患者实现听觉补偿,而对于重度及极重度感音神经性聋患者不能提供足够的声音清晰度来帮助患者进行有意义的言语识别,这时人工耳蜗植入就成为了首选治疗方法。随着技术的进步,人工耳蜗植入术后保留残余听力成为可能,扩大了人工耳蜗的受益群体,已从双侧重度-极重度感音神经性聋患者扩大到具有明显残余低频听力和单侧耳聋的患者。这也让更多的低频残余听力保留的耳聋患者,

能从声电联合刺激(electric and acoustic stimulation, EAS)中受益,特别是在噪声环境中,可以提高患者的言语识别能力、音乐欣赏能力、声源定位能力<sup>[1]</sup>。

尽管取得了这些重大进展,但人工耳蜗植入后的听力结果差异很大,并且在植入后实现可靠的听力保护的目标仍然难以实现。近年来,越来越多的研究发现,外科技术的改进、新电极的开发设计、主动监测耳蜗功能以及抗炎药物的治疗等,在保护患者残余听力方面取得了一定的进展<sup>[2]</sup>,也为保护人

基金项目:湖南省出生缺陷协同防治科技重大专项(2019SK1015);湖南省委创新技术(08557)。

第一作者简介:胡恒坤,硕士研究生,医师。

通信作者:赵斯君;Email:zhaosj3991@sohu.com

人工耳蜗植入术后残余听力带来新的研究方向。

## 1 人工耳蜗植入后低频残余听力损失机制

人工耳蜗植入后对残余听力的损害通常可分为两个阶段<sup>[3]</sup>。发生在术后即刻为第一阶段,被认为与手术和电极植入创伤有关,为急性机械性损伤。电极植入可能会造成螺旋板骨质断裂、基底膜损伤、鼓阶骨膜撕裂,影响螺旋器的结构与功能;术中电钻的机械损伤、电钻噪声损伤传入内耳及术中操作导致听骨链损伤、鼓膜损伤、中耳积液等;内耳压力瞬间改变致淋巴液平衡紊乱、淋巴液枯竭等<sup>[4]</sup>。术后数月甚至数年第二阶段,部分患者会发展到完全丧失残余听力,该过程可能与术后炎症反应和免疫反应有关,为迟发性损伤。Quesnel等<sup>[5]</sup>通过分析单侧耳植入人工耳蜗患者的双侧颞骨组织切片,发现在植入侧耳蜗,疏松的纤维组织和形成的新骨充满鼓阶和部分前庭阶。电极植入创伤可诱发炎症反应,刺激耳蜗纤维化甚至骨化,引起电极阻抗增加和传导到耳蜗顶端区域的声能减少,导致低频残余听力损失。内毛细胞与I型传入神经纤维形成突触连接,并在沿听神经的传入通路中起主要作用。耳蜗顶圈突触结构损伤可能导致低频残余听力损失。在一项动物实验中<sup>[6]</sup>,将正常或噪声引起的耳聋豚鼠在使用人工耳蜗电极进行慢性电刺激后出现1 kHz处的听力损失;组织学研究表明,听力损失可能与内毛细胞带状突触和突触后受体数量的减少相关。电刺激引起的突触损伤也可能是导致低频残余听力损失的因素之一。而Shen等<sup>[7]</sup>表明电刺激引起突触损伤的机制可能与钙通道异常开放有关。影响低频残余听力损失的因素多种多样,现有研究无法完全解释其发生的机制。理论上,听觉传导通路上任何部分的病理变化都会影响低频残余听力。人工耳蜗植入后损伤引起的炎症被认为是显著的,仍需要进一步研究以确定所涉及的具体机制。

## 2 人工耳蜗植入后低频残余听力保护相关因素

### 2.1 电极序列的选择

电极的长度、刚性、形状等对于残余听力的保留非常重要,从理论上讲短电极、弯电极和软电极更适合残余听力的保留。软电极尖端纤细柔软,可以让电极平滑地植入耳蜗,能够减少术中对耳蜗造成的机械创伤,并保护了耳蜗内微结构和残余听力,

术后听觉效果更佳<sup>[8]</sup>。人工耳蜗电极通常按照植入后电极在鼓阶中的位置分为直电极序列和弯电极序列(预弯电极序列)。在本节中,我们将讨论为听力保护和EAS目的而开发的两种类型的直电极序列:短电极序列和纤细电极序列。

2.1.1 短电极序列 20世纪90年代末,发现EAS可提高患者人工耳蜗植入术后在噪声下言语识别能力,使声音更为清晰自然,因此,出现了以保护听力为目标的电极序列设计的改变。Mowry等<sup>[9]</sup>提出了一种短的电极序列,供联合EAS使用,其植入位置较浅,可减少电极植入对蜗顶基底膜及毛细胞造成损伤,因此可以用来保留低频残余听力。一项关于S12 Hybrid系统的植入物(10 mm,10个电极触点)在多中心临床试验中进行了评估<sup>[10]</sup>,发现85%的参与者在12个月时保留了低频残余听力[纯音听阈(pure tone average, PTA)在125、250和500 Hz  $\leq$  85 dB]。另外一项长期研究显示,L24、S8和S12使用者中有相当一部分在最初植入后15年内保留了低频残余听力<sup>[11]</sup>。这些研究表明电极的长度和植入深度可能是影响低频听力的一个重要因素。

2.1.2 纤细电极序列 研究表明,较粗的电极序列会增加损伤耳蜗的风险,而直电极的优势在于易于植入,因此需要设计纤细和柔软的电极,以便有效地保护残余听力。纤细电极已成为追求更大电极覆盖率与听力保留之间的潜在平衡方式。Lenarz等<sup>[12]</sup>对20例低频残余听力较高的患者植入SlimJ电极进行回顾性研究,发现术后1个月,85%的患者低频听力保持在30 dBHL以内,50%的患者保持在15 dBHL以内,短期内获得了较高的听力保留率。在一项豚鼠模型研究中发现纤细电极刚度小,电极植人力均值更小,植入后听力损失小<sup>[13]</sup>。一项探讨电极特性对人工耳蜗植人力学特征的影响研究中<sup>[14]</sup>,将标准电极、纤细电极、纤细加长电极,在耳蜗模型上进行电极植入,通过分析植入过程力学信息,发现纤细电极的植人力峰值显著小于标准电极,表明电极的纤细化有助于植入力的减小,能更好地保护残余听力。

由于大部分为回顾性研究,对听力保护定义不同,且由不同的外科医生操作,因此很难得出一致性结论,还需要进一步的前瞻性队列研究去证实。关于“理想”的电极,还与耳蜗解剖个体差异性、残留听力水平、听力损失的病因等因素相关。

2.1.3 电极涂层 通常用于听力保护的人工耳蜗设计主要集中在电极序列的直径、长度和形状改进

上。人工耳蜗电极嵌入在有机硅聚合物外壳中,容易形成生物膜,易引发耳蜗内的异物炎性反应和新骨形成,甚至电极表面纤维组织形成等病理反应。使用亲水性“水凝胶”涂层来改善有机硅的机械和防污性能已经引起了生物材料研究人员的关注。例如,正在研究的两性离子水凝胶涂层可作为此目的的人工耳蜗涂层<sup>[15]</sup>。该涂层在体外试验显示出能够减少蛋白质、细胞和细菌的粘附,减少电极表面纤维化,但尚未在人工耳蜗模型中进行研究,重要的是,这些涂层电极显著降低了电极植入过程中的植人力,也可能有助于减轻急性插入创伤<sup>[16]</sup>,对保护残余听力也具有非常重要的意义。高分子材料涂层本身也具有抑制表面纤维组织形成的特点,其他如透明质酸和星形聚乙二醇水凝胶涂层也已开发并在少量的人工耳蜗模型中进行测试<sup>[17]</sup>,但还需要进一步的研究和临床实践来证明水凝胶涂层的实用性和耐受性。

## 2.2 围手术期的药物治疗

### 2.2.1 皮质类固醇在人工耳蜗手术中的应用

围手术期使用糖皮质激素可减少人工耳蜗植入后的排异反应和炎性反应,是保护残余听力的有效方法。Cho 等<sup>[18]</sup>研究表明,术前全身性糖皮质激素与术中局部使用可以获得更好的听力保留。一项动物研究发现<sup>[19]</sup>在电极插入前将糖皮质激素局部应用于圆窗长达 2 h,可最大程度地保护听力。术中鼓阶注入糖皮质激素可短暂降低高频电极反应阈值,但术后 2 周开机时为未见明显区别<sup>[20]</sup>。而一项旨在评估两种不同的糖皮质激素给药方案对接受人工耳蜗植入的患者的听力保护的临床有效性研究中<sup>[21]</sup>,发现不同的给药途径,在残余听力保护上并未见明显的差异。Skarżyńska 等<sup>[22]</sup>研究表明围手术期口服糖皮质激素治疗,最好在手术前开始并在手术后继续使用,可以促进听力的保留和之后的稳定性。鉴于目前研究样本量较小,且听力保留评估方法、听力学随访及电极类型之间存在差异,因此对于最佳的给药途径、剂量及时间仍需要更进一步的研究。

糖皮质激素洗脱人工耳蜗电极可能成为减少手术后炎症反应的潜在方法。在人工耳蜗植入电极的豚鼠模型中,已证明从人工耳蜗电极中洗脱糖皮质激素可减少炎症反应、纤维化和降低电极阻抗。在最近一项研究中,与植入后长达 6 个月的传统人工耳蜗相比,地塞米松洗脱电极降低了听性脑干反应阈值变化并降低了电极阻抗<sup>[23]</sup>,研究中组织学分析还显示,实验组的耳蜗内纤维化和新骨形成减少。

Briggs 等<sup>[24]</sup>研究使用一种新型地塞米松洗脱耳蜗电极与常规的耳蜗电极相比,检查了电极阻抗测量值,发现在实验组中,电极阻抗在术后 24 个月内显著降低且更稳定,稳定的低阻抗表明减少了对人工耳蜗的炎症反应。上述研究表明,糖皮质激素洗脱电极能够有效地抑制局部炎症反应,对残余听力有保护作用。

### 2.2.2 其他药物

如前所述,在人工耳蜗植入手术中对局部和全身使用糖皮质激素进行了广泛研究,然而,糖皮质激素具有许多副作用,例如高血糖、机会性感染、消化性溃疡等。Gantz 等<sup>[25]</sup>建议需要预防人工耳蜗植入后的延迟性听力损失,而长期使用糖皮质激素会增加该群体的不良反应。因此,需要更多的研究来发现新的药物对人工耳蜗植入术残余听力的保护。一项旨在评估全身硫辛酸对人工耳蜗植入后听力保护的影响研究,该研究将豚鼠随机分为对照组和硫辛酸组。实验组动物经腹腔内注射硫辛酸治疗 4 周后,组织学检查显示,沿电极插入部位的耳蜗内纤维化明显少于对照组,基底、中间和顶端的螺旋神经节细胞密度较对照组显著升高。该研究表明全身性硫辛酸给药可能能够有效地保护接受人工耳蜗植入患者的低频听力,其作用机制可能归因于保护螺旋神经节细胞和预防耳蜗内纤维化<sup>[26]</sup>。其他药物作用机制包括抑制细胞凋亡、刺激神经突生长和溶解耳蜗内血栓<sup>[27]</sup>等,在动物模型中也显示出对听力保护的一些益处,但由于缺乏重复性,未经过临床试验,目前很难得出结论。

## 2.3 人工耳蜗植入手术现状与进展

手术方法或电极植入技术的改进也可以减少术中对耳蜗的创伤,从而减轻耳蜗炎症反应和纤维化。Lehnhardt 等<sup>[28]</sup>在 20 世纪 90 年代率先提出使用“柔”手术技术进行人工耳蜗植入,其方法强调在不破坏骨内膜的情况下,圆窗龛前端开窗进入鼓阶,钻孔时多采用低钻速钻头,钻至骨内膜处停止,换由小刀或探针轻轻划开骨内膜,耳蜗造口处用药,植入电极时不应直接使用吸引器抽吸或者过快地暴力插入电极,应匀速、灵活而轻柔,并在植入后对植入体和术区形成完全覆盖与保护。来自动物和人类颞骨研究的结果表明创伤性植入对听力保护和耳蜗结构完整性存在负面影响,因此建议使用“柔”手术技术<sup>[29]</sup>。此外,还有严控电极的植入时间、采用圆窗或圆窗前下植入和“进极止芯”技术均有利于残余听力的保留<sup>[30-31]</sup>。

### 2.3.1 机器人辅助人工耳蜗植入

人工耳蜗电极

植入的速度和稳定性被广泛认为是减少术中创伤相关的重要因素,并可能改善术后听力效果。机器人辅助人工耳蜗植入将成为一种可能在人工耳蜗植入手术中标准化植入速度和轨迹的工具。Kaufmann等<sup>[32]</sup>在人类尸体颞骨上使用新型机器人比较了机器人与手动植入,发现机器人辅助降低了植入力且保持了植入力的稳定,植入样本的组织学检查还显示,机器人辅助植入中的耳蜗损伤减少,同时标间易位和骨螺旋板的破坏也减少。Barriat等<sup>[1]</sup>使用机器人辅助技术对5例患者进行了初步研究,认为在临床环境中执行此操作具有良好的耐受性和可行性。潘金锡等<sup>[14]</sup>分别应用传统技术、机器人辅助技术在耳蜗模型上进行电极植入,在电极条件相同的情况下,机器人技术均能较传统技术降低电极植入的力峰值和力变化,表明机器人辅助技术的应用有助于植入力的减小,应用机器人辅助技术可实现良好力控。

新技术的应用势必存在一定的风险,范登堡大学团队<sup>[33]</sup>采用框架式辅助系统定位时出现了术中面神经损伤。因此,机器人辅助人工耳蜗植入的研发还需要多学科合作,包括手术器械设计、影像学定位、术中操作、听力及言语的术中术后评估等,需要更多的研究结果来证明其对听力的保护。

### 2.3.2 图像和电生理引导的人工耳蜗植入手术

人工耳蜗植入术中电极的植入轨迹、深度和最终位置难以控制,并且可能因患者解剖结构和外科医生经验而存在较大差异。最近研究发现使用CT进行图像引导的人工耳蜗植入手术,可以更精确地规划耳蜗植入的向量和深度。图像引导是利用患者特定的解剖参数来实施理想的植入向量和植入深度<sup>[34]</sup>。Labadie等<sup>[35]</sup>研发了一种可用于图像引导的人工耳蜗植入手术系统,将术前计算机断层扫描图像对标层面进行标记,并使用微创方式植入人工耳蜗。结合图像引导和机器人辅助植入的集成系统,可以对植入过程提供实时控制。同样,通过机器人技术实现的电极植入精确控制与耳蜗电图实时动态的监测,可以检测耳蜗局部区域诱发的频率特异性耳蜗微音电位,在耳蜗内、外记录耳蜗电图。当术中耳蜗电图信号异常时,可提示是否存在电极插入导致的耳蜗损伤,这样可能会减少手术创伤并改善手术效果。

## 3 结论

本文总结了关于保留残余听力相关的电极设计、新型电极涂层、药物治疗、机器人辅助、图像引导

等方面的最新进展,为获得更好的残余听力,改善患者的生活质量带来了新的基础及临床研究方向。未来,我们还需要更多更大规模的前瞻性队列研究,获得更多的循证学依据,最大程度保护残余听力。

### 参考文献:

- [1] Barriat S, Peigneux N, Duran U, et al. The use of a robot to insert an electrode array of cochlear implants in the cochlea: A feasibility study and preliminary results[J]. *Audiol Neurootol*, 2021, 26(5): 361–367.
- [2] 刘军, 杨仕明. 人工耳蜗及相关技术的进展[J]. *中国耳鼻咽喉颅底外科杂志*, 2019, 25(5): 449–455.
- [3] Tejani VD, Kim JS, Oleson JJ, et al. Residual hair cell responses in electric-acoustic stimulation cochlear implant users with complete loss of acoustic hearing after implantation[J]. *J Assoc Res Otolaryngol*, 2021, 22(2): 161–176.
- [4] 刘军, 李万鑫. 人工耳蜗植入的残余听力保留技术[J]. *中国听力语言康复科学杂志*, 2017, 15(1): 1–5.
- [5] Quesnel AM, Nakajima HH, Rosowski JJ, et al. Delayed loss of hearing after hearing preservation cochlear implantation: Human temporal bone pathology and implications for etiology[J]. *Hear Res*, 2016, 333: 225–234.
- [6] Reiss LAJ, Stark G, Nguyen-Huynh AT, et al. Morphological correlates of hearing loss after cochlear implantation and electro-acoustic stimulation in a hearing-impaired Guinea pig model[J]. *Hear Res*, 2015, 327: 163–174.
- [7] Shen N, Liang Q, Liu Y, et al. Charge-balanced biphasic electrical stimulation inhibits neurite extension of spiral ganglion neurons[J]. *Neurosci Lett*, 2016, 624: 92–99.
- [8] Högerle C, Englhard A, Simon F, et al. Cochlear implant electrode tip fold-over: Our experience with long and flexible electrode[J]. *Otol Neurotol*, 2022, 43(1): 64–71.
- [9] Mowry SE, Woodson E, Gantz BJ. New frontiers in cochlear implantation: acoustic plus electric hearing, hearing preservation, and more[J]. *Otolaryngol Clin North Am*, 2012, 45(1): 187–203.
- [10] Dunn CC, Oleson J, Parkinson A, et al. Nucleus hybrid S12: Multicenter clinical trial results[J]. *Laryngoscope*, 2020, 130(10): E548–E558.
- [11] Gantz BJ, Dunn CC, Oleson J, et al. Acoustic plus electric speech processing: Long-term results[J]. *Laryngoscope*, 2018, 128(2): 473–481.
- [12] Lenarz T, Buechner A, Lesinski-Schiedat A, et al. Hearing Preservation With a New Atraumatic Lateral Wall Electrode[J]. *Otol Neurotol*, 2020, 41(8): e993–e1003.
- [13] Drouillard M, Torres R, Mamelle E, et al. Influence of electrode array stiffness and diameter on hearing in cochlear implanted guinea pig[J]. *PLoS One*, 2017, 12(8): 1–15.
- [14] 潘金锡, 贾欢, 谭皓月, 等. 植入技术与电极特性对人工耳蜗植入力学特征影响的模型研究[J]. *中华耳鼻咽喉头颈外科*

杂志, 2021, 56(7): 691-697.

- [15] Leigh BL, Cheng E, Xu L, et al. Antifouling photograftable zwitterionic coatings on PDMS substrates[J]. *Langmuir*, 2019, 35(5): 1100-1110.
- [16] Bennion DM, Horne R, Peel A, et al. Zwitterionic photografted coatings of cochlear implant biomaterials reduce friction and insertion forces[J]. *Otol Neurotol*, 2021, 42(10): 1476-1483.
- [17] Wrzeszcz A, Steffens M, Balster S, et al. Hydrogel coated and dexamethasone releasing cochlear implants; quantification of fibrosis in guinea pigs and evaluation of insertion forces in a human cochlea model[J]. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*, 2015, 103(1): 169-178.
- [18] Cho HS, Lee KY, Choi H, et al. Dexamethasone is one of the factors minimizing the inner ear damage from electrode insertion in cochlear implantation[J]. *Audiol Neurootol*, 2016, 21(3): 178-186.
- [19] Shaul C, Venkatagiri PK, Lo J, et al. Glucocorticoid for hearing preservation after cochlear implantation; A systemic review and meta-analysis of animal studies[J]. *Otol Neurotol*, 2019, 40(9): 1178-1185.
- [20] 江采晔, 卓明英, 吴倩倩, 等. 人工耳蜗植入经耳蜗造孔注射药物对NRT阈值的影响[J]. *中华耳科学杂志*, 2018, 16(2): 193-198.
- [21] Skarżyńska MB, Kolodziejak A, Gos E, et al. The clinical effect of steroid therapy on preserving residual hearing after cochlear implantation with the advanced bionics hires ultra 3D cochlear implant system[J]. *Life (Basel, Switzerland)*, 2022, 12(4): 1-12.
- [22] Skarżyńska MB, Skarżyński PH, Król B, et al. Preservation of hearing following cochlear implantation using different steroid therapy regimens: A prospective clinical study[J]. *Med Sci Moni*, 2018, 24: 2437-2445.
- [23] Manrique-Huarte R, Zulueta-Santos C, Calavia D, et al. Cochlear implantation with a dexamethasone eluting electrode array; Functional and anatomical changes in non-human primates[J]. *Otol Neurotol*, 2020, 41(7): e812-e22.
- [24] Briggs R, Leary SO, Birman C, et al. Comparison of electrode impedance measures between a dexamethasone-eluting and standard Cochlear™ Contour Advance® electrode in adult cochlear implant recipients[J]. *Hear Res*, 2020, 390: 1-9.
- [25] Gantz BJ, Hansen MR, Turner CW, et al. Hybrid 10 clinical trial; preliminary results[J]. *Audiol Neurootol*, 2009, 14 Suppl 1: 32-38.
- [26] Chang MY, Gwon TM, Lee HS, et al. The effect of systemic lipoic acid on hearing preservation after cochlear implantation via the round window approach: A guinea pig model[J]. *Eur J Pharmacol*, 2017, 799: 67-72.
- [27] Choong JKL, Lo J, Chambers SA, et al. Intracochlear tPA infusion may reduce fibrosis caused by cochlear implantation surgery[J]. *Acta Otolaryngol*, 2019, 139(5): 396-402.
- [28] Lehnhardt E. Intracochlear placement of cochlear implant electrodes in soft surgery technique[J]. *HNO*, 1993, 41(7): 356-359.
- [29] Ishiyama A, Doherty J, Ishiyama G, et al. Post hybrid cochlear implant hearing loss and endolymphatic hydrops[J]. *Otol Neurotol*, 2016, 37(10): 1516-1521.
- [30] 李颖, 郑军, 刘海红. 儿童人工耳蜗植入术残余听力保留[J]. *中华耳科学杂志*, 2015, 13(3): 407-411.
- [31] 王翠翠, 戴朴, 韩东一. 微创人工耳蜗植入术后残余听力保留的效果观察[J]. *中华耳科学杂志*, 2013, 11(3): 375-379.
- [32] Kaufmann CR, Henslee AM, Claussen A, et al. Evaluation of insertion forces and cochlea trauma following robotics-assisted cochlear implant electrode array insertion[J]. *Otol Neurotol*, 2020, 41(5): 631-638.
- [33] Labadie RF, Balachandran R, Noble JH, et al. Minimally invasive image-guided cochlear implantation surgery: first report of clinical implementation[J]. *Laryngoscope*, 2014, 124(8): 1915-1922.
- [34] Khan MMR, Labadie RF, Noble JH. Preoperative prediction of angular insertion depth of lateral wall cochlear implant electrode arrays[J]. *J Med Imag (Bellingham, Wash)*, 2020, 7(3): 1-17.
- [35] Labadie RF, Riojas K, Wahlde KV, et al. Clinical Implementation of second-generation minimally invasive image-guided cochlear implantation surgery[J]. *Otol Neurotol*, 2021, 42(5): 702-705.

(收稿日期:2022-11-17)

本文引用格式:胡恒坤,赵斯君,黄敏.人工耳蜗植入术残余听力保留现状和研究进展[J].中国耳鼻咽喉颅底外科杂志,2023,29(6):102-106. DOI:10.11798/j.issn.1007-1520.202322486

Cite this article as:HU Hengkun, ZHAO Sijun, HUANG Min. Current status and research progress of residual hearing preservation after cochlear implantation[J]. *Chin J Otorhinolaryngol Skull Base Surg*, 2023, 29(6): 102-106. DOI: 10.11798/j.issn.1007-1520.202322486