

DOI:10.11798/j.issn.1007-1520.201905001

· 专家论坛 ·

人工耳蜗及相关技术的进展

刘 军,杨仕明

(中国人民解放军总医院耳鼻咽喉头颈外科耳鼻咽喉科研究所 国家耳鼻咽喉疾病临床医学研究中心 中国教育部聋病重点实验室,北京市聋病防治重点实验室,北京 100853)



专家介绍 刘军,中国人民解放军总医院(301)耳鼻咽喉头颈外科主任医师,医学博士,赴美博士后,主要从事耳显微、耳神经外科和人工听觉植入。解放军总医院第二届十佳青年;耳力学和中耳植入专业委员会副主委,中国听力医学发展基金会专家委员;助听器人工耳蜗专委会、中国研究型医院学会听觉医学专业委员会、医促会耳鼻咽喉头颈外科分会委员。《中国听力语言康复科学杂志》副总编,《医学参考报》耳鼻咽喉头颈外科频道副总编,《中华耳科学杂志》《中国中西医结合耳鼻咽喉科杂志》《国际耳鼻咽喉头颈外科杂志》《中国应用生理学杂志》《听力学及言语疾病杂志》《中国耳鼻咽喉颅底外科杂志》编委,《中华耳鼻咽喉头颈外科杂志》《临床耳鼻咽喉头颈外科杂志》审稿专家。发表论文60余篇,SCI 6篇。负责北京市科研基金、总医院科技创新和总医院科技苗圃基金各1项。作为主要完成人获总医院医疗成果一等奖、总医院科技进步一等奖、武警科技进步二等奖、总装科技进步二等奖及北京市科技进步一等奖各1项。

摘要: 人工耳蜗植入(cochlear implantation, CI)是重度-极重度感音神经性聋患者的听觉和言语康复的主要方法,随着人们对听觉系统和中枢可塑性的深入研究,手术技术及辅助工具的开发,以及人工耳蜗植入相关电子科技和材料科学的发展,人工耳蜗及相关技术有了很大的进步。本文分析人工耳蜗植入体,尤其是电极设计和言语处理器的升级、人工耳蜗植入适应证的拓宽、术前评估手段的完善及精准微创人工耳蜗植入和残余听力保留的开展,并对人工耳蜗植入相关技术进行展望。

关键词:人工耳蜗;耳聋;听觉植入;干预;康复

中图分类号:R764.9⁺3

Development of cochlear implantation and its related technique

LIU Jun, YANG Shi-ming

(Department of Otolaryngology Head and Neck Surgery, Institute of Otolaryngology, Chinese PLA General Hospital, China National Clinical Research Center for Otolaryngologic Diseases, Key Lab of Hearing Impairment Science of Ministry of Education, Key Lab of Hearing Impairment Prevention and Treatment of Beijing, Beijing 100853, China)

Abstract: Cochlear implantation (CI) is the main therapy for hearing and language rehabilitation for patients with severe-profound sensorineural hearing loss. There has been significant improvement of CI and its related technique, with further study into hearing system and central plasticity, innovation of surgical skills and auxiliary tools, and development of CI related electronic and material science. This article will analyze and discuss the update of CI implant (especially electrode design) and speech processor, expansion of CI indications, improvement of pre-operative evaluation, development of minimally invasive cochlear implantation (MICI) and preservation of residual hearing, new techniques of hearing rehabilitation such as combination of hair cell regeneration, deafness genetic diagnosis and CI. A future perspective of CI will also be given.

Keywords: Cochlear implant; Hearing loss; Artificial auditory implantation; Intervention; Rehabilitation

基金项目:北京市科技计划首都市民健康项目培育基金(Z131100004013019);解放军总医院临床科研扶持基金(2012FC-TSYS-4017)。
作者简介:刘 军,男,博士,主任医师。
通信作者:杨仕明,Email:yangsm301@263.net

人工耳蜗植入 (cochlear implantation, CI) 是目前针对重度 - 极重度感音神经性聋且助听器无效或效果不佳患者有效的听觉和语言康复方法。人工耳蜗的发展最早可以追溯到 1790 年,意大利学者发现电刺激正常耳可以产生听觉^[1],1977 年多通道人工耳蜗在奥地利维也纳第一次临床应用,1984 年澳大利亚科利耳多导人工耳蜗通过美国食品药品监督管理局 (FDA) 认证,人工耳蜗进入了商品化市场,1995 年我国开始开展进口多通道人工耳蜗植入。目前全球约有 70 万听障人士接受了人工耳蜗植入,我国有 7 万多例。30 年来人工耳蜗的功能最早的只能听到声音或辅助唇读,如今通过人工耳蜗可获得接近正常人的听觉和语言功能,人工耳蜗及相关技术在不断发展和进步。本文就近几年人工耳蜗植入体,尤其是电极设计和言语处理器的升级,人工耳蜗植入适应证的拓宽、人工耳蜗植入术前评估手段的完善及精准微创人工耳蜗植入手术的开展等方面进行分析,并对人工耳蜗植入相关技术的未来进行展望。

1 人工耳蜗装置的发展

目前我国在售的人工耳蜗品牌有 6 个,其中进口产品有 MedEl (奥地利)、Cochlear Limited (澳大利亚)、Advanced Bionics (美国) 人工耳蜗;国产品牌有诺尔康、力声特、受益声人工耳蜗。人工耳蜗分为植入体和体外言语处理器两大部分,具体进展如下。

1.1 人工耳蜗植入体

1.1.1 植入体体积、外形和材质 植入体的设计需考虑诸多因素,除了厚度和大小,还有材质(绝缘性、是否易损坏、与 MRI 相容性等)、工作稳定性、是否容易固定、植入体不产生移位、磨骨量,以及植入后对颅骨外形影响等,尤其是针对 6 个月至 2 岁的低龄儿童颅骨小和薄等特点,大家比较关心植入体的厚度和体积大小,各厂家陆续推出了更轻、更薄、体积更小、更贴附于颅骨的植入体,代表性的产品如 MedEl 和 Cochlear Limited 的 CI532、CI522 和 CI512。除了外形美观,还可减少因植入体太大、太突出影响局部皮瓣血供。

另外考虑到植入体的坚固和耐用等问题,易碎材质的人工耳蜗植入体逐渐被淘汰,植入体多由钛合金、铂金和硅胶等材料制成。考虑到行人工耳蜗植入后可能行 MRI 检查,早期的人工耳蜗因为材质的问题,行 MRI 检查会出现植入体产热、移位甚至损伤植入体周围组织的风险,同时 MRI 的伪影也会

影响对检查部位病变的判读,所以早期的人工耳蜗需要手术取出植入体中的磁铁,检查后再将磁铁重新植入。近年研发的人工耳蜗大部分考虑到与 MRI 相容性^[2-4],但因产品和型号差异,人工耳蜗植入的患者如需行 MRI 检查,需与产品技术支持人员、放射科医生以及主刀医生共同商讨,制订较周密检查计划,包括是否需要取磁铁或植入体外侧局部绷带固定。

1.1.2 人工耳蜗电极的发展^[5-6] 人工耳蜗及相关技术发展中,电极设计的发展是最快和最复杂的。既往人工耳蜗电极比较单一,都是直电极,以半环电极为主,长度一致。后来根据不同植入的需要陆续出现了各种人工耳蜗电极,电极包含多种特性如长度、刚性、形状、是否抱耳蜗蜗轴电极刺激方向和特殊功能等。

根据长度分为固定长度、可调节长度、定制长度及长和短电极。固定长度电极的长度从 15 mm 到 34 mm。有学者认为,电极长度可能与人工耳蜗植入疗效有一定关系,越接近耳蜗长度,实现电极的全耳蜗覆盖,对低中高频的刺激,可能会有更好的效果。可调节长度电极主要考虑到耳蜗畸形,长度不好估计,在术中可根据实际情况决定插入深度,确保达到有效的刺激。定制电极考虑的是使电极完全植入和实现尽量多的刺激,根据颞骨 CT 图像计算耳蜗蜗管长度来推算电极长度^[7]。

根据是否抱蜗轴分为:弯电极(也称预弯电极)和直电极。有学者提出近耳蜗蜗轴系数的概念,同种条件下电极距离蜗轴越近,聆听效果可能越好^[8],可实现对听神经更有效地刺激,更省电。严重内耳畸形时无蜗轴如共同腔畸形,螺旋神经节的位置可能有较大改变,可使用全环或 360°直电极,可能会对更多的残余螺旋神经节进行刺激。耳蜗结构正常,如有耳蜗微创和保留残余听力要求,可采用弯电极、精细直电极和超软电极。对于耳蜗纤维化或骨化的患者,蜗管变细,会影响电极的植入,需选择刚性较大的电极,术中需备试验电极。根据电极刺激方向不同分为全环电极(又称 360°电极)、半环电极和混合电极。

特殊用途电极较少,如针对耳蜗畸形的电极、MedEl 设计的 FORM 电极、MedEl 为共同腔畸形设计的“U”形贴壁电极、带药电极即电极上的药一般包括糖皮质激素^[9]、神经营养因子^[10]、生长因子^[11]等,主要作用是保护残余听力、减轻植入后炎症反应及耳蜗纤维化,降低阻抗,提高短期及长期的听力水

平,获得更好的听力效果。

1.2 人工耳蜗言语处理器

人工耳蜗言语处理器属于非植入部分,其功能与人工耳蜗效果密切相关。言语处理器在不断升级,目前外形发展趋势更轻、薄、小巧、美观、舒适,附带防潮、防尘或防水功能。既往的盒式言语处理器逐渐被淘汰,新的一体机出现,以 MedEl RONDO 和 Cochlear Limited KANSO 言语处理器为代表。

言语处理器和编码策略的升级主要表现在声音收集、降噪、方向性聆听、环境自动识别、处理速度、续航能力及声效智能切换等方面,目的是为了提高听力,以如 MedEl SONNET、美国 AB 美人鱼 Q90、Cochlear Limited Nedews 7 言语处理器为代表。最新的言语处理器功能设置多包含方向性麦克风或双麦克风、智能声音收集、智能降噪、智能自动环境识别、与智能手机关联、可遥控、自适应方向性、风噪抑制、轻声设置、定向聚焦等选择性聆听功能。

2 人工耳蜗植入适应证的拓宽

早期人工耳蜗植入适应证只针对成人语后聋患者,并且只单侧植入,目前人工耳蜗植入的听力学标准放宽、植入的年龄有缩小的趋势、严重内耳畸形(耳蜗发育不全、耳蜗分隔不全和共同腔畸形)、双侧同期或序贯人工耳蜗植入、单耳重度-极重度感音神经性聋、侧颅底肿瘤、听神经病、脑白质病变等不再是人工耳蜗植入禁忌证。

2.1 听力学标准放宽

既往人工耳蜗植入耳聋程度要求听阈 > 100 dBHL,目前听力水平的要求有所放松,英美的人工耳蜗植入指南的客观听力学评估标准:短声 ABR 反应阈值 90dB nHL、40Hz 听觉事件相关电位、1kHz 以下反应阈值 100dB nHL、听性稳态反应 2kHz 及以上频率阈值听力学标准 > 90 dB。韩国将 1~2 岁的儿童听力学标准从 > 90 dB 降到 > 70 dB,我国人工耳蜗植入听力损失程度一般界定标准为 80dB 以上。我国也着手中国人工耳蜗临床指南补充和修订工作,结果值得期待,人工耳蜗植入的适应证除了听力水平,还要考虑助听器干预效果和双耳聆听等因素^[12-14]。

2.2 人工植入最小年龄有降低趋势^[13-14]

大部分国家对于人工耳蜗植入最低年龄是不低于 12 个月,但个别国家,如德国的人工耳蜗植入指南对植入年龄没有限制,澳大利亚也取消了对儿童

植入年龄的下限,我国人工耳蜗植入工作指南指出的植入年龄不低于 12 个月,但实际临床工作中,儿童植入年龄下限常常为不低于 6 个月,对于特殊患者如脑膜炎合并双耳重度-极重度感音神经性聋的幼儿,因为后期会出现严重的耳蜗纤维化或骨化,需要根据病情及早行人工耳蜗植入,以免失去植入机会。

2.3 严重内耳畸形患者行人工耳蜗植入

内耳畸形是致聋的重要原因,约 20% 的先天性聋行影像学检查可发现内耳畸形,所以听力有问题的患者需要行颞骨 CT 和颅脑(包括内耳)MRI。人工耳蜗植入术前内耳影像学检查的意义^[12]在于了解内耳结构,明确部分听障患者的耳聋致病原因;内耳畸形程度结合耳聋性质和水平,选择最佳的康复干预方法,如手术、助听器、人工耳蜗和听觉脑干等;有利于选择人工耳蜗植入手术入路和电极类型;了解耳蜗结构选择合适的电极,避免电极植入困难、术后脑脊液漏、电极位置错位误入内听道等;确定人工耳蜗植入的侧别;预估手术时间、可能并发症风险以及术后疗效;准备特殊设备如人工耳蜗术中 CT 的准备,术中确定面神经、耳蜗、内听道以及电极植入位置等。

关于内耳畸形的认识在不断更新,内耳畸形 80% 是内耳膜性结构畸形,20% 是骨性结构畸形。目前关于内耳畸形分类为大部分学者接受的分类包括^[15-18]:迷路完全缺失、初期听泡、耳蜗未发育(无耳蜗畸形)、共同腔畸形、耳蜗发育不全(I~IV 型)、耳蜗分隔不全 IP~I(囊性耳蜗);IP~II(Monidini 畸形);IP~III(X 连锁耳聋)、大前庭水管综合征、蜗孔-耳蜗神经畸形、前庭/半规管畸形等。

早期所有严重内耳畸形属于人工耳蜗植入禁忌证,目前迷路完全缺失、初期听泡、耳蜗未发育(无耳蜗畸形)以及耳蜗神经未发育是人工耳蜗植入的绝对禁忌证,其余共同腔畸形、耳蜗发育不全、耳蜗分隔不全等均不再作为人工耳蜗植入的禁忌证^[19]。

2.4 双侧人工耳蜗植入

全球目前有近 70 万例植入人工耳蜗,其中 10 万患者为实现双耳聆听选择了双侧人工耳蜗植入,双耳聆听会有良好听觉效果,对于有条件的患者行双侧人工耳蜗植入得到大家共识^[20-23]。双耳聆听优势^[20-24]:①双耳聆听会有立体声听觉效果;②能分辨声源方向和定位;③消除头影效应;④双耳总和效应可提高听力约 5~10dB;⑤言语识别率提

高;⑥听觉记忆尤其是短时记忆好于单耳;⑦提高患者在日常生活中的交流及社会技能以及总体反应性;⑧同期双侧植入可避免前后2次手术、2次麻醉,降低整体费用;⑨可避免单耳人工耳蜗植入侧别选择的问题;⑩克服或减轻听觉疲劳,提高聆听舒适度;⑪避免或减轻听力剥夺;⑫双侧聆听可提高选择性聆听;⑬双侧聆听对中枢神经系统的发育刺激比单侧植入更快,延缓听觉中枢功能衰退;⑭双侧聆听可提高音乐和韵律的理解和辨别欣赏能力。

但双侧人工耳蜗植入也要考虑双耳发育、家庭经济承受能力、年龄以及身体发育如体重等问题。双侧人工耳蜗植入常见的方式有同期双侧植入以及分期序贯植入,大多数学者建议分期手术间隔期不宜过长,但我国2次植入最长的间隔时间是22年,也取得了较好疗效。

2.5 单耳重度-极重度感音神经性聋患者行人工耳蜗植入

单耳听力损失是指一只耳朵听力正常或者轻度听力损失(30dB以内),另一耳朵听力为重度 and 极重度感音神经性聋。单耳听力患者可从人工耳蜗植入中获益,表现为聆听效果尤其是噪声环境下、声源定位以及言语识别上都有明显提高^[25-27]。

国内关于单耳听力是否需要人工耳蜗干预一直有争议。一侧耳除了重度-极重度感音神经性聋同时伴有严重的失代偿耳鸣,或对侧耳听力也在中度感音神经性聋或以上程度,此类患者行人工耳蜗植入,大部分人都能理解和接受。但争议点主要集中在对侧耳听力完全正常是否需要行人工耳蜗植入,争议具体包括以下几点:①由于目前人工耳蜗为半植入式,分体内的植入体和体外的言语处理器部分,外露的言语处理器可能会影响美观;②耳蜗植入可能影响将来更先进的治疗康复方法,如耳聋基因治疗、干细胞抑制和毛细胞再生的应用,失去接受全植入式人工耳蜗和更微创或无创技术的机会;③对人工耳蜗助听的适应和双侧聆听整合问题。单耳听力的患者正常耳的自然声和人工耳蜗助听的电刺激产生的声音有所不同,需要听觉中枢适应并慢慢整合,必然会有一定的适应和习惯过程,但部分成人患者无法适应或主诉人工耳蜗助听声音嘈杂无法忍受,常常会放弃佩戴;④人工耳蜗是电子装置,仍不能达到与正常听力耳一样的聆听水平,也就是说很难达到严格意义的双耳聆听效果;⑤单耳听力的患者行人工耳蜗植入常常需要自费。

所以,单耳听力是否需要干预,如何干预需要认

真考虑和权衡利弊。先天性单耳耳聋,如果考虑植入人工耳蜗,手术年龄最好在3岁以前。如不考虑或无法行人工耳蜗植入例如耳蜗神经未发育或破坏、耳蜗完全骨化以及无耳蜗畸形等情况,可考虑应用骨导助听器和信号对传(contralateral routing of signals, CROS)。

2.6 侧颅底肿瘤患者行人工耳蜗植入

侧颅底肿瘤常见的有听神经瘤或神经纤维瘤病,因此类肿瘤起源于前庭神经鞘膜,所以又称前庭神经鞘膜瘤,治疗方法有观察、定期复查、立体定向放疗、手术等。听神经瘤会导致听力下降,包括肿瘤本身引起或切除肿瘤手术引起,如果为双耳耳聋患者无法正常交流,会影响生活质量;如果双耳听力水平达到人工耳蜗植入标准,可考虑行人工耳蜗植入,文献报道人工耳蜗植入均有显著效果。肿瘤切除同时行人工耳蜗植入,影响人工耳蜗植入疗效的关键点是耳蜗神经的完整性和是否有良好的血供^[28-32]。

3 精准微创人工耳蜗植入逐渐得到重视

精准微创人工耳蜗植入(minimally invasive cochlear cochlear implantation, MICI)近年来逐渐得到大家的重视,人工耳蜗植入要做到精准微创,术前评估非常重要。耳聋遗传学病因研究的耳聋基因检测可以明确耳聋的遗传学病因,同时可以做到术前预估人工耳蜗植入的疗效^[33]。

影像学检查包括颞骨CT、颅脑MRI(包括内听道截面断层)可以明确内耳是否畸形以及畸形程度^[15-18],有利于人工耳蜗植入适应证的把握以及电极的选择。电诱发听性脑干反应(electrically evoked auditory brain-stem response, EABR)检测有利于判断人工耳蜗植入的适应证、预判人工耳蜗植入疗效以及人工耳蜗植入效果评估^[34]。

MICI的“微创”是与既往传统人工耳蜗植入手术相比较的相对概念^[35],MICI的发展标志性文献包括1993年Lehnhardt^[36]“柔手术技术”(soft surgery technique)的提出,1999年VonIllberg^[37]描述的声电联合刺激(electric-acoustic stimulation, EAS),以及O'Donoghue等^[38]作者提出的小切口人工耳蜗植入技术。国内陆续有了人工耳蜗植入手术径路、耳蜗微创或残余听力保护的相关报道^[39-43]。

行人工耳蜗植入手术尽量减少或避免不必要的损伤,传统人工耳蜗植入损伤包括皮肤、皮下、肌肉、颅骨骨膜和乳突损伤;中耳结构损伤如鼓膜损伤、听

骨链损伤或脱位;内耳损伤包括耳蜗开窗和电极植入时耳蜗骨螺旋板以及中阶损伤,电钻机械能可通过听骨链以及内耳骨壁传到内耳,电钻产热和噪声导致内耳损伤,耳蜗开窗后淋巴液丧失或枯竭,内耳微环境如离子浓度或压力瞬间改变,电极植入速度过快导致内耳压力瞬间变化使内耳微环境改变,电极植入、骨渣和血液进入内耳引起的耳蜗纤维化,电极本身异物排异反应等均可导致残余听力的丧失^[41]。

MICI 的意义在于:①保持切口微小美观、植入体处头皮局部平整;②保持耳蜗的精细结构和内环境,最大程度保护残余听力;③预防皮瓣并发症、防止电极移位,增加了手术安全性^[44];④预防耳蜗纤维化和骨化,为可能的人工耳蜗再植入留有较好的条件;⑤为将来接受干细胞移植、毛细胞再生以及耳聋基因治疗等新技术治疗留有必要条件。

4 展望

随着人工耳蜗及相关科技的发展,可以预见人工耳蜗植入适应证会不断扩大,人工耳蜗装置会更加优化,微创人工耳蜗植入手术方式会不断进步。对耳蜗无创和组织相容性更好的电极、植入体小型化、全植入一体机以及利用光触发听觉的光学耳蜗正在研发当中^[45-46],言语处理器在降噪、更接近自然声和人工智能方面也会不断进步。微创植入入路和植入方法也会不断改进,电极力学和光学导航电极植入,机器人辅助的 MICI 可以将创伤降得更低^[47-50]。随着人工耳蜗及相关技术的发展,我们有理由相信人工耳蜗会更好地服务听障人士,使更多患者从中受益。

参考文献:

[1] Eshraghi AA, Nazarian R, Telischi FF, et al. The cochlear implant: historical aspects and future prospects [J]. *Anat Rec (Hoboken)*, 2012, 295(11):1967-1980.

[2] 邢奋丽, 曹克利. 人工耳蜗与 MRI 兼容性的研究进展[J]. *听力学及言语疾病杂志*, 2004, 12(5):301-302.

Xing FL, Cao KL. Research progress in compatibility of cochlear implants with MRI[J]. *Journal of Audiology and Speech Pathology*, 2004, 12(5):301-302.

[3] Carlson ML, Neff BA, Link MJ, et al. Magnetic resonance imaging with cochlear implant magnet in place: safety and imaging quality[J]. *Otol Neurotol*, 2015, 36(6):965-971.

[4] Edmonson HA, Carlson ML, Patton AC, et al. MR imaging and cochlear implants with retained internal magnets: reducing artifacts

near highly inhomogeneous magnetic fields [J]. *Radiographics*, 2018, 38(1):94-106.

[5] Dhanasingh A, Jolly C. An overview of cochlear implant electrode array designs[J]. *Hear Res*, 2017, 356:93-103.

[6] 刘军. 如何选择人工耳蜗[J]. *中国听力语言康复科学杂志*, 2019(增刊):8-11.

Liu J. How to choose cochlear implants[J]. *Chinese Scientific Journal of Hearing and Speech Rehabilitation*, 2019 (Supplement): 8-11.

[7] Martinez-Monedero R, Niparko JK, Aygun N. Cochlear coiling pattern and orientation differences in cochlear implant candidates[J]. *Otol Neurotol*, 2011, 32(7):1086-1093.

[8] Holden LK, Finley CC, Firszt JB, et al. Factors affecting open-set word recognition in adults with cochlear implants[J]. *Ear Hear*, 2013, 34(3):342-360.

[9] Bohl A, Rohm HW, Ceschi P, et al. Development of a specially tailored local drug delivery system for the prevention of fibrosis after insertion of cochlear implants into the inner ear[J]. *J Mater Sci Mater Med*, 2012, 23(9):2151-2162.

[10] Chikar JA, Hendricks JL, Richardson-Burns SM, et al. The use of a dual PEDOT and RGD-functionalized alginate hydrogel coating to provide sustained drug delivery and improved cochlear implant function[J]. *Biomaterials*, 2012, 33(7):1982-1990.

[11] Kikkawa YS, Nakagawa T, Ying L, et al. Growth factor-eluting cochlear implant electrode: impact on residual auditory function, insertional trauma, and fibrosis[J]. *J Transl Med*, 2014, 12:280.

[12] 刘军. 什么类型的耳聋患者需要植入人工耳蜗[J]. *中国听力语言康复科学杂志*, 2016(增刊):10-12.

Liu J. What kind of deaf patients need cochlear implants[J]. *Chinese Scientific Journal of Hearing and Speech Rehabilitation*, 2016 (Supplement):10-12.

[13] 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志编辑委员会, 中华医学会耳鼻咽喉头颈外科学分会, 中国残疾人康复协会听力语言康复专业委员会. 人工耳蜗植入工作指南(2013)[J]. *中华耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2014, 49(2):89-95.

Editorial Committee of the Chinese Journal of Otolaryngology Head and Neck Surgery, Society of Otolaryngology Head and Neck Surgery, Chinese Medical Association, Chinese Rehabilitation Association for the Disabled. Guidelines for cochlear implantation (2013) [J]. *Chinese Journal of Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery*, 2014, 49(2):89-95.

[14] 高志强, 杨仕明. 中国人工耳蜗临床指南补充和修订的思考[J]. *中华耳科学杂志*, 2019, 17(2):142-143.

Gao ZQ, Yang SM. Reflections on the supplementation and revision of the clinical guidelines for cochlear implants in China[J]. *Chinese Journal of Otology*, 2019, 17(2):142-143.

[15] 倪道凤. 内耳畸形的分类[J]. *听力学及言语疾病杂志*, 2019, 27(1):1-5.

Ni DF. Classification of inner ear malformations[J]. *Journal of Audiology and Speech Pathology*, 2019, 27(1):1-5.

[16] Jackler RK, Luxford WM, House WF. Congenital malformations of

- the inner ear; a classification based on embryogenesis[J]. *Laryngoscope*, 1987, 97 (3 Pt 2 Suppl 40): 2-14.
- [17] Sennaroglu L, Saatci L. A new classification for cochleovestibular malformations[J]. *Laryngoscope*, 2002, 112(12): 2230-2241.
- [18] Sennaroglu L, Bajin MD. Classification and current management of inner ear malformations[J]. *Balkan Med J*, 2017, 34(5): 397-411.
- [19] Tucci DL, Telian SA, Zimmerman-Phillips S, et al. Cochlear implantation in patients with cochlear malformations[J]. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 1995, 121(8): 833-838.
- [20] Dunn CC, Noble W, Tyler RS, et al. Bilateral and unilateral cochlear implant users compared on speech perception in noise[J]. *Ear Hear*, 2010, 31(2): 296-298.
- [21] Dunn CC, Tyler Rs, Oakley S, et al. Comparison of speech recognition and localization performance in bilateral and unilateral cochlear implant users matched on duration of deafness and age at implantation[J]. *Ear Hear*, 2008, 29(3): 352-359.
- [22] Reeder RM, Firszt JB, Holden LK, et al. A longitudinal study in adults with sequential bilateral cochlear implants: time course for individual ear and bilateral performance[J]. *J Speech Lang Hear Res*, 2014, 57(3): 1108-1126.
- [23] Lammers MJW, Venekamp RP, Gmlman W, et al. Bilateral cochlear implantation in children and the impact of the interimplant interval[J]. *Laryngoscope*, 2014, 124(4): 993-999.
- [24] 刘军. 双耳聆听——听障的正确康复方法[J]. *中国听力语言康复科学杂志*, 2018(增刊): 8-11.
- Liu J. Biaural listening—the correct rehabilitation method for hearing impairment[J]. *Chinese Scientific Journal of Hearing and Speech Rehabilitation*, 2018(Supplement): 8-11.
- [25] Peters JPM, Zon AV, Smit AL, et al. CINGLE-trial: cochlear implantation for single-sided deafness, a randomised controlled trial and economic evaluation[J]. *BMC Ear, Nose Throat Disord*, 2015, 15(1): 3.
- [26] Vlastarakos PV, Nazos K, Tavoulari EF, et al. Cochlear implantation for single-sided deafness: the outcomes. An evidence-based approach[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2014, 271(8): 2119-2126.
- [27] Heyning PVD, Vermeire K, Diebl M, et al. Incapacitating unilateral tinnitus in single-sided deafness treated by cochlear implantation[J]. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2008, 117(9): 645-652.
- [28] 洪梦迪, 韩东一, 郝昕, 等. 一例神经纤维瘤患者植入人工耳蜗的效果观察[J]. *中国听力语言康复科学杂志*, 2014, 12(3): 220-222.
- Hong MD, Han DY, Zheng X, et al. Outcome of cochlear implantation in a patient with acoustic neuroma[J]. *Chinese Scientific Journal of Hearing and Speech Rehabilitation*, 2014, 12(3): 220-222.
- [29] 火子榕, 张治华, 黄琦, 等. 唯一听力耳听神经瘤患者人工耳蜗植入疗效分析[J]. *中华耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2016, 51(6): 408-413.
- Huo ZR, Zhang ZH, Huang Q, et al. Analysis of the effect of cochlear implantation in the only patient with auditory neuroma[J]. *Chinese Journal of Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery*, 2016, 51(6): 408-413.
- [30] Mukherjee P, Ramsden JD, Donnelly N, et al. Cochlear implants to treat deafness caused by vestibular schwannomas[J]. *Otol Neurotol*, 2013, 34(7): 1291-1298.
- [31] Ramsden R, Khwaja S, Green K, et al. Vestibular schwannoma in the only hearing ear: cochlear implant or auditory brainstem implant[J]. *Otol Neurotol*, 2005, 26(2): 261-264.
- [32] Di Lella F, Merkus P, Di Trapani G, et al. Vestibular schwannoma in the only hearing ear: role of cochlear implants[J]. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2013, 122(2): 91-99.
- [33] 刘军, 李万鑫. 遗传性耳聋的人工耳蜗植入康复[J]. *中国听力语言康复科学杂志*, 2016, 14(1): 1-6.
- Liu J, Li WX. The Effects of genetic background on rehabilitation outcomes after cochlear implantation[J]. *Chinese Scientific Journal of Hearing and Speech Rehabilitation*, 2016, 14(1): 1-6.
- [34] Kileny PR, Zwolan TA, Zimmerman-Phillips S, et al. Electrically evoked auditory brain-stem response in pediatric patients with cochlear implants[J]. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 1994, 120(10): 1083-1090.
- [35] Carlson ML, Driscoll CL, Gifford RH, et al. Implications of minimizing trauma during conventional cochlear implantation[J]. *Otol Neurotol*, 2011, 32(6): 962-968.
- [36] Lehnhardt E. Intracochlear placement of cochlear implant electrodes in soft surgery technique[J]. *HNO*, 1993, 41(7): 356-359.
- [37] von Ilberg C, Kiefer J, Tillein J, et al. Electric-acoustic stimulation of the auditory system[J]. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec*, 1999, 61(6): 334-340.
- [38] O'Donoghue GM, Nikolopoulos TP. Minimal access surgery for pediatric cochlear implantation[J]. *Otol Neurotol*, 2002, 23(6): 891-894.
- [39] 叶青, Jan Kiefer, 杨仕明. 有低频残余听力感音神经聋的人工耳蜗植入术[J]. *中华耳科学杂志*, 2009, 7(3): 221-225.
- Ye Q, Jan Kiefer, Yang SM. Cochlear implantation in patients with residual low frequency hearing[J]. *Chinese Journal of Otolaryngology*, 2009, 7(3): 221-225.
- [40] 戴朴, 宋跃帅. 人工耳蜗植入微创进路手术的临床应用[J]. *中华耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2010, 45(10): 800-802.
- Dai P, Song YS. Minimal access surgery for cochlear implant[J]. *Chinese Journal of Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery*, 2010, 45(10): 800-802.
- [41] 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.
- Liu J, Li WX. The technology of preservation of residual hearing after cochlear implantation[J]. *Chinese Scientific Journal of Hearing and Speech Rehabilitation*, 2017, 15(1): 1-5.
- [42] 韩东一. 精准、微创、个体化的人工耳蜗植入理念[J]. *中华耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2018, 53(9): 641-644.
- Han DY. A brandnew concept for cochlear implantation: highlight on precision, minimal invasion, and individualization[J]. *Chinese Journal of Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery*,

- 2018, 53 (9): 641 – 644.
- [43] 高志强. 人工耳蜗精准微创植入术[J]. 山东大学耳鼻喉眼学报, 2017, 31(5): 1 – 3.
Gao ZQ. Precision minimally invasive cochlear implantation [J]. Journal of Otolaryngology and Ophthalmology of Shandong University, 2017, 31 (5): 1 – 3.
- [44] 刘军, 张宇丽, 陈星睿, 等. 人工耳蜗植入术后发生面瘫的预防及处理[J]. 中国听力语言康复科学杂志, 2012, 10(5): 337 – 339.
Liu J, Zhang YL, Chen XR, et al. Prevention and treatment of facial paralysis after cochlear implantation [J]. Chinese Scientific Journal of Hearing and Speech Rehabilitation, 2012, 10(5): 337 – 339.
- [45] 张开银, 王秋玲. 利用光致声波触发听觉的光学耳蜗[J]. 中华耳科学杂志, 2010, 8(2): 183 – 187.
Zhang KY, Wang QL. Auditory perception induced by laser stimulation: a new strategy for cochlear implantation [J]. Chinese Journal of Otology, 2010, 8 (2): 183 – 187.
- [46] Izzo AD, Richter CP, Jansen ED, et al. Laser stimulation of the auditory nerve. [J]. Lasers Surg Med, 2006, 38(8): 745 – 753.
- [47] Dillon NP, Balachandran R, Labadie RF. Accuracy of linear drilling in temporal bone using drill press system for minimally invasive cochlear implantation [J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2016, 11(3): 483 – 493.
- [48] Jia Ke, Shao-Xing Zhang, Lei Hu, et al. Minimally invasive cochlear implantation assisted by biplanar device: an exploratory feasibility study in vitro [J]. Chin Med J, 2016, 129(20): 2476 – 2483.
- [49] Schipper J, Klenzner T, Aschendorff A, et al. Navigation? controlled cochleostomy. Is an improvement in the quality of results for cochlear implant surgery possible [J]. HNO, 2004, 52(4): 329 – 335.
- [50] Liu WP, Azizian M, Sorger J, et al. Cadaveric feasibility study of da Vinci Si-assisted cochlear implant with augmented visual navigation for otologic surgery [J]. JAMA Otolaryngol Head Neck Surg, 2014, 140(3): 208 – 214.

(收稿日期: 2019 – 09 – 15)

本文引用格式: 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. DOI: 10.11798/j.issn.1007-1520.201905001

Cite this article as: LIU Jun, YANG Shi-ming. Development of cochlear implantation and its related technique [J]. Chin J Otorhinolaryngol Skull Base Surg, 2019, 25 (5): 449 – 455. DOI: 10.11798/j.issn.1007-1520.201905001