

HRCT 对人工耳蜗植入术中脑脊液 井喷的预测价值

刘智锋¹ 林晓德² 黄宏明³ 董广源⁴ 吴佩娜³

[摘要] 目的:探讨颞骨高分辨率 CT(HRCT)多平面重组对内耳畸形患者人工耳蜗植入术中脑脊液井喷的预测价值。方法:回顾性分析 33 例(36 耳)行 CI 内耳畸形患者的临床资料,评估其对 CI 中脑脊液井喷的预测价值。结果:蜗孔宽度($P=0.024, OR=1.735$)、内听道底上下径($P=0.022, OR=6.119$)是内耳畸形患者 CI 中脑脊液井喷的独立危险因素。蜗孔宽度预测术中井喷的 AUC=0.851, 敏感度为 93.33%, 特异度为 61.90%; 内听道底上下径预测术中井喷的 AUC=0.848, 敏感度为 80.00%, 特异度为 80.95%; 蜗孔宽度联合内听道底上下径预测术中井喷的 AUC=0.930, 敏感度为 80.00%, 特异度为 95.24%。结论:基于颞骨 HRCT 的蜗孔宽度联合内听道底上下径预测模型对内耳畸形患者 CI 中“井喷”具有重要预测价值。

[关键词] 高分辨率 CT; 人工耳蜗植入术; 脑脊液井喷; 预测; 内耳畸形

DOI:10.13201/j.issn.2096-7993.2024.05.014

[中图分类号] R764.9 [文献标志码] A

The value of HRCT in predicting cerebrospinal fluid gusher during cochlear implantation

LIU Zhifeng¹ LIN Xiaode² HUANG Hongming³ DONG Guangyuan⁴ WU Peina³

(¹Guangdong Cardiovascular Institute, Guangdong Provincial People's Hospital, Guangdong Academy of Medical Sciences, Guangzhou, 510080, China; ²Department of Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery, Shantou Central Hospital; ³Department of Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery, Guangdong Provincial People's Hospital; ⁴The Second Affiliated Hospital of the Chinese University of Hong Kong[Shenzhen], Physical Examination Center of Longgang District People's Hospital)

Corresponding author: WU Peina, E-mail: linwupeina@hotmail.com

Abstract Objective: To investigate the predictive value of temporal bone high-resolution CT(HRCT) multi-planar reconstruction(MPR) for cerebrospinal fluid(CSF) gusher during cochlear implantation in patients with inner ear malformation. **Methods:** The clinical data of 33 patients(36 ears) with inner ear malformation who underwent cochlear implantation were retrospectively analyzed. The predictive value of HRCT for cerebrospinal fluid gusher during cochlear implantation was evaluated. **Results:** The width of the cochlear foramen($P=0.024, OR=1.735$) and the diameter of the inner auditory meatus($P=0.022, OR=6.119$) were independent risk factors for CSF gusher during cochlear implantation. The area under the curve(AUC) of cochlear foramen width in predicting intraoperative gusher was 0.851, the sensitivity was 93.33%, and the specificity was 61.90%. The AUC of the upper and lower diameter of the internal auditory canal for predicting intraoperative gusher was 0.848, the sensitivity was 80.00%, and the specificity was 80.95%. The AUC of cochlear foramen width combined with the upper and lower diameters of the internal auditory meatus for predicting intraoperative gusher was 0.930, the sensitivity was 80.00%, and the specificity was 95.24%. **Conclusion:** Based on temporal bone HRCT, the prediction model of cochlear foramen width combined with the upper and lower diameter of the internal auditory canal has crucial predictive value for the "gusher" during cochlear implantation in patients with inner ear malformation.

¹广东省心血管病研究所 广东省人民医院 广东省医学科学院(广州,510080)

²汕头市中心医院耳鼻咽喉头颈外科

³广东省人民医院耳鼻咽喉头颈外科

⁴香港中文大学(深圳)附属第二医院 深圳市龙岗区人民医院体检中心

通信作者:吴佩娜, E-mail: linwupeina@hotmail.com

Key words high-resolution CT; cochlear implantation; cerebrospinal fluid gusher; predict; inner ear malformation

人工耳蜗植入术(cochlear implant, CI)是重建助听器效果不佳的重度或极重度感音神经性聋患者听力的重要手段^[1]。虽然随着手术技术的提高和手术设备的改进,CI更加趋于精细化,并发症的发生率也减少。然而部分内耳畸形患者的CI手术操作难度大,并发症时有发生,并影响着患者预后效果。术中脑脊液漏为是内耳畸形患者CI手术的主要并发症之一(1%~5%)^[2],在内耳畸形患者中脑脊液漏的发生率可增加到40%~50%^[1-2,5]。针对脑脊液从耳蜗开窗处快速涌出这一现象,多数学者称之为“脑脊液井喷(cerebrospinal fluid gusher)”。“脑脊液井喷”不仅会损伤膜迷路,影响人工耳蜗电极植入,并且术后可能有耳鸣、前庭功能障碍,以及出现脑脊液耳鼻漏,甚至继发细菌性脑膜炎而危及生命^[3]。颞骨高分辨率CT(high-resolution computed tomography, HRCT)多平面重组可精细显示内耳结构,为术前提供有效的影像学依据^[4]。但迄今为止尚未见基于颞骨HRCT多平面重组探讨各内耳测量指标对内耳畸形患者CI中脑脊液井喷的预测价值的相关研究。本研究收集2015年7月—2020年12月于广东省人民医院接受CI内耳畸形患者的临床及颞骨HRCT影像资料,在HRCT测量沟通脑脊液与耳蜗淋巴液的各通道径线(包括前庭水管、耳蜗水管、内听道、蜗孔宽度),分析术中“脑脊液井喷”与各指标的关系,寻找有助于预测术中“脑脊液井喷”的指标。

1 资料与方法

1.1 临床资料

选取2015年7月—2020年12月广东省人民医院接受CI患者33例(36耳)的临床资料进行回顾性分析。其中男23例,女10例,年龄5个月~15岁。参考Loundon分类标准^[8]将入组患者分为

井喷组和非井喷组。

1.2 纳入及排除标准

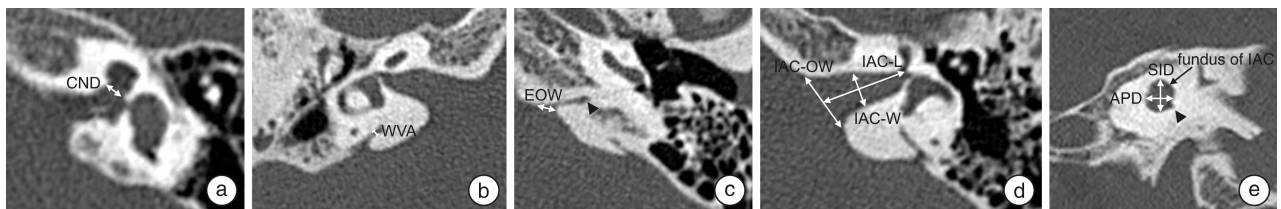
纳入标准:①术前颞骨HRCT符合内耳畸形;②经颞骨HRCT检查排除外耳和中耳畸形;③听力学检查明确为助听器效果不佳的重度或极重度感音神经性耳聋。排除标准:①既往有耳部手术史或头颅外伤史;②外伤性、感染性、药物性等因素所致非先天性耳聋患者。

1.3 HRCT扫描

所有患者术前完善HRCT检查,CT扫描仪选择Philips 64排128层CT扫描仪。扫描体位取仰卧位,下颌稍回缩,以听眦线为扫描基线,头颅摆位左右对称。扫描范围:从乳突尖至岩锥上缘。扫描技术参数:电流350 mAs,电压120 KV,层厚0.625 mm,层间距0.625 mm。将扫描所得原始图像进行多平面重建(MPR),重建出轴位,其中横断面基线与水平半规管平行,层厚0.625 mm,层间距0.1 mm。

1.4 观察指标

经MPR重组后,于斜轴位图像测量各项相关指标,包括:①蜗孔宽度(diameter of the cochlear nerve foramen, CND);蜗孔前后骨壁之间的最大距离(图1a);②前庭水管宽径(width of vestibular aqueduct, WVA);前庭水管内外壁中点距离(图1b);③耳蜗水管外口宽径(external opening width, EOW);岩骨内缘处开口前后骨缘的距离(图1c);④内听道长度(length of internal auditory canal, IAC-L)、口径(opening width of internal auditory canal, IAC-OW)、宽度(width of internal auditory canal, IAC-W)(图1d);⑤内听道底的前后径(anteroposterior diameter, APD)、上下径(superior-inferior diameter, SID)(图1e)。



a:蜗孔宽度;b:前庭水管宽径;c:耳蜗水管外口宽径,▲所指为耳蜗水管,可见连通鼓阶和蛛网膜下腔;d:内听道各径线;e:内听道底各径线,▲所指为单孔起始处。

图 1 HRCT 观察指标

1.5 统计学分析

采用SPSS 23.0软件进行统计学分析。计量

数据采用 $\bar{X} \pm S$ 表示,计数资料以%表示,组间比较采用t检验,二元logistic回归分析分析术中脑

脊液井喷的独立危险因素,绘制受试者工作特征性曲线(ROC)评估预测价值。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 分组及概况

入组患者共 33 例(36 耳),井喷组患者 15 例(15 耳),其中耳蜗分隔不全 I 型畸形(incomplete partition type I, IP-I)9 例(27.28%);耳蜗分隔不全 III 型畸形(incomplete partition type III, IP-III)5 例(15.15%);耳蜗发育不全 II 型畸形(cochlear hypoplasia type II, CH-II)1 例(3.03%)。非井喷组患者 18 例(21 耳),其中 IP-I 9 例(27.28%),CH-II 3 例(9.09%),共同腔畸形 6 例(18.18%)。

2.2 内耳结构测量值比较

井喷组与非井喷组内耳测量值见表 1,井喷组蜗孔宽度、内听道底上下径、内听道底前后径均显著大于非井喷组($P < 0.05$)。2 组前庭水管宽度、耳蜗水管口径、内听道长度、口径及宽度,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。

2.3 CI 中脑脊液井喷危险因素的多因素分析

二元 logistic 回归分析结果显示蜗孔宽度($P = 0.024, OR = 1.735$)、内听道底上下径($P = 0.022, OR = 6.119$)为 CI 中脑脊液井喷的独立危险因素,见表 2。

2.3 预测效能分析

蜗孔宽度和内听道底上下径对预测 CI 中脑脊

液井喷均有较好的效能,蜗孔宽度预测术中井喷的 $AUC = 0.851$,敏感度为 93.33%,特异度为 61.90%;内听道底上下径预测术中井喷的 $AUC = 0.848$,敏感度为 80.00%,特异度为 80.95%;相比之下,蜗孔宽度联合内听道底上下径预测模型对 CI 中脑脊液井喷的预测效能最佳,该预测模型 $AUC = 0.930$,特异度(95.24%)、阳性预测值(80.00%)及阴性预测值(90.50%)均优于单一指标,见表 3、图 2。通过 Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验评价联合蜗孔宽度和内听道底上下径的预测模型的校准能力,结果发现 Hosmer-Lemeshow 检验 $\chi^2 = 4.950, P = 0.666$,说明模型预测值与实际观测值之间差异无统计学意义,预测模型有较好的校准能力,见图 3。

表 1 井喷组与对照组内耳测量指标比较

测量指标/mm	井喷组	非井喷组	P
	(n=15)	(n=21)	
蜗孔宽度	2.58±0.33	1.96±0.50	<0.001
内听道长度	9.52±2.24	8.86±2.06	0.365
内听道口径	7.76±1.56	7.09±1.97	0.286
内听道宽度	5.29±1.35	4.84±1.26	0.312
内听道底上下径	4.91±1.53	3.30±0.84	<0.001
内听道底前后径	4.81±1.02	3.98±0.96	0.018
前庭水管宽度	1.54±0.97	1.04±1.14	0.182
耳蜗水管口径	1.83±0.67	1.77±1.27	0.860

表 2 CI 中脑脊液井喷相关危险因素的多因素分析

预测因素	回归系数	标准误	P	OR	OR(95%CI)	
					下限	上限
蜗孔宽度	0.551	0.245	0.024	1.735	1.074	2.803
内听道上下径	1.811	0.789	0.022	6.119	1.303	28.728
内听道前后径	0.652	0.747	0.382	1.920	0.444	8.294

表 3 不同内耳测量指标对预测 CI 中脑脊液井喷的效能比较

指标	AUC(95%CI)	最佳	敏感度	特异度	阳性预测	阴性预测	P
		截断值	/%	/%	值/%	值/%	
蜗孔宽度	0.851(0.729~0.972)	2.13	93.33	61.90	66.7	76.2	<0.001
内听道底上下径	0.848(0.719~0.976)	3.71	80.00	80.95	66.7	90.5	<0.001
蜗孔宽度联合内听道底上下径	0.930(0.850~1.000)	0.58	80.00	95.24	80.0	90.5	<0.001

3 讨论

多数学者将 CI 中脑脊液经耳蜗开窗处快速涌出这一现象,称之为“脑脊液井喷”。“脑脊液井喷”不仅可能损伤膜迷路,影响人工耳蜗电极植入,还增加了术后并发症的风险。术中若处理不当,术后可能有耳鸣、前庭功能障碍,以及出现脑脊液耳鼻漏甚至继发细菌性脑膜炎而危及生命^[6]。为了将

脑脊液涌出的程度细化分析,Loundon 等^[7]提出 5 级评级标准,级别越高,脑脊液涌出的情况越严重,0 级:无液体涌出;1 级:开窗后液体涌出后立即停止;2 级:开窗后液体在蜗管内搏动;3 级:开窗后少量液体持续搏动,涌出蜗管;4 级:开窗后液体持续大量涌出,持续时间 > 1 min。本研究将 Loundon 分级标准的 4 级定义为“脑脊液井喷”。

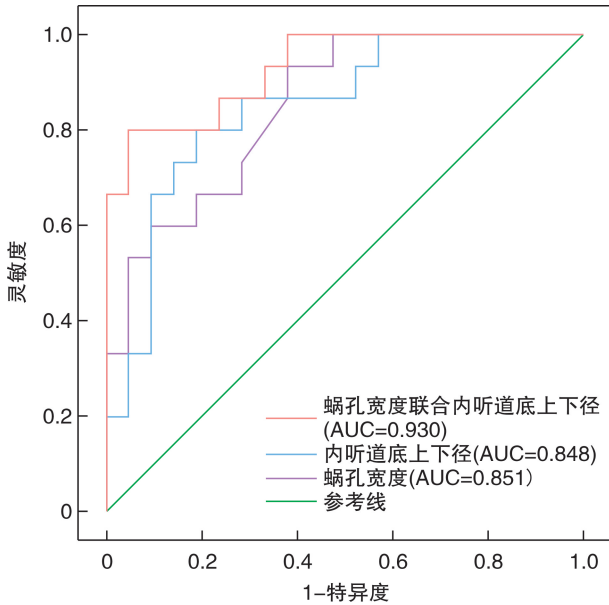
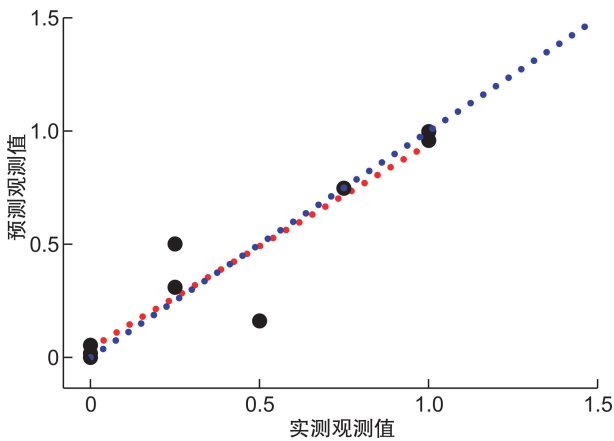


图 2 CI 中脑脊液井喷预测模型 ROC 曲线图



注:蓝线为标准曲线(y=x),红线为校准曲线。

图 3 联合蜗孔宽度和内听道底上下径的预测模型校准图

本研究中井喷组共 15 例(15 耳),15 例的耳蜗蜗轴均完全缺失,耳蜗与内听道直接相通,且井喷患者主要集中于 IP 畸形,仅有 1 例为 CH-II 畸形。既往文献报道的术中脑脊液井喷也主要发生在内耳畸形病例中,其中 IP 畸形发生率较高。Suk 等^[8]研究中,23 例(共 25 耳)IP-I 畸形且接受 CI 的患者术中脑脊液井喷发生率为 56%。本研究中有 9 例 IP-I 畸形出现脑脊液井喷,占 IP-I 畸形的 60%,与已有报道的发生率接近;且有 5 例 IP-III 畸形出现脑脊液井喷,占 IP-III 畸形的 100%。相较于 IP-I 畸形和 IP-III 畸形的术中井喷的高发生率,IP-II 畸形的发生率较低。由以上可知 IP 畸形,尤其是 IP-I 畸形、IP-III 畸形的 CI 中脑脊液井喷的发生率较高。这可能与 IP-I、IP-III 畸形的蜗轴缺失导致耳蜗与内听道相通有关。

然而,本研究中 33 例(共 36 耳)患者的蜗轴均完全缺失,仅有 15 耳术中出现脑脊液井喷,非井喷

组患者 17 例(共 21 耳)虽存在蜗轴缺失,但无此现象。对此,有学者推测可能是部分患者内听道与耳蜗之间的缺损处尚存在将二者分隔开来的膜性结构^[9],脑脊液与耳蜗外淋巴液并未相通。Wong 等^[10]认为膜性结构破裂和术中脑脊液漏的风险与脑脊液和外淋巴液之间的压力差、骨性缺损的尺寸成正比,与缺损边缘处附着软组织膜的厚度成反比。有学者发现,术前 CT 显示内耳结构正常、耳蜗底转完整的患者,CI 中也出现了脑脊液井喷,而其蜗孔宽度更宽(左侧 2.4 mm,右侧 2.3 mm)^[10]。也有研究发现脑脊液可通过蜗轴内的血管周围间隙以及通过内听道筛孔的神经周围间隙与耳蜗的鼓阶外淋巴液进行交换^[11]。因此,本研究推测脑脊液井喷的发生可能和脑脊液与耳蜗淋巴液沟通的各通道宽度有关,蜗孔越宽,脑脊液通过神经周围间隙与耳蜗的沟通更加密切,蛛网膜下腔与耳蜗之间的压力梯度更大。内听道底骨质缺损,会导致内听道与耳蜗或前庭直接交通,脑脊液在蛛网膜下腔内突破内听道硬脑膜后经内听道底缺损处流至内耳,导致耳蜗内压力增高,最终引起脑脊液井喷^[11]。以上所述均为脑脊液经由内听道与耳蜗相通提供理论依据。

颞骨 HRCT 可精细显示内耳结构并对内耳畸形进行准确分类,可显示内耳邻近结构的伴发异常,利于快速准确地进行 CI 前评估^[12]。本研究将斜矢状面单孔起始处定义为内听道底,在该层面测量内听道底上下径以及前后径,对脑脊液进入内听道至耳蜗的全程的主要经线进行测量,探讨其与 CI 中脑脊液井喷是否存在相关性。在斜矢状面测量结果显示井喷组的内听道底上下径、前后径均明显大于对照组,发现内听道口径、内听道宽度、内听道长度在井喷组与对照组之间差异均无统计学意义。但井喷组的平均蜗孔宽度显著大于对照组的平均蜗孔宽度。因此,本研究认为内听道底的腔径越大,桥小脑池的脑脊液通过内听道神经周围的蛛网膜下间隙与内耳沟通的阻力更小,蜗孔越宽,更易造成脑脊液井喷。由此可见,颞骨 HRCT 在 CI 前评估具有非常重要的临床价值,蜗孔宽度和内听道底斜矢状面的测量有助于预测内耳畸形患者 CI 中井喷可能性,并提前做好应对方案。

本研究首次探讨了各内耳测量指标对术中井喷的预测效能,通过多因素分析,证明蜗孔宽度($P=0.024,OR=1.735$)和内听道底上下径($P=0.022,OR=6.119$)是术中井喷的独立危险因素,并以其作为预测参数构建了 ROC 曲线,二者的 ROC 曲线预测效能相近(图 2),但相对而言蜗孔宽度的预测敏感度更高、特异度偏低,这提示蜗孔宽度的预测敏感性更高、特异度偏低,这提示蜗孔宽度对于预测术中脑脊液井喷可能更具有临床价值。进一步联合蜗孔宽度和内听道底上下径建立预测

模型(图3),其预测效能更佳(AUC=0.930),虽然敏感度有所降低,但特异度、阳性预测值、阴性预测值均优于单一指标,而且拟合优度结果显示预测模型具有较好的校准能力。由此可见,基于蜗孔宽度和内听道底上下径的预测模型对术中井喷的预测具有良好效能,可作为临床指导内耳畸形患者CI前评估脑脊液井喷的重要参考。

除内听道、蜗孔以外,脑脊液还能通过前庭水管和耳蜗水管与内耳相通。前庭水管扩大患者的脑脊液可通过扩大的前庭水管^[13],直接流入前庭,也可能导致CI中脑脊液漏^[14]。然而,本研究中平均前庭水管宽径、耳蜗管外口宽径在井喷组与对照组之间差异均无统计学意义。既往有学者研究发现耳蜗水管扩大可能也是引起术中井喷的一个重要原因^[15]。耳蜗水管是呈“S”型走行于颞骨内的骨性小管,外口位于内听道下方,向上向后开口于耳蜗基底转圆窗附近的鼓阶。学者对耳蜗水管进行测量并做出相关报道:有研究利用Micro-CT对30例感音神经性耳聋患者进行测量得到耳蜗水管外口宽径(2.88±1.06)mm^[16]。从既往已有的研究可见,耳蜗水管外口宽度存在较大个体差异,本次测量结果与其他研究者测量得到的结果也存在较大差异,这可能与研究对象、研究方法以及耳蜗水管本身解剖存在较大变异性有关。虽然既往研究都证明了耳蜗水管确实在脑脊液与鼓阶外淋巴液交换起到一定作用,但其最窄处宽径仅有(138±58)μm且耳蜗水管内充满疏松组织,对脑脊液和外淋巴液起到一定阻挡作用^[17]。由此可见,虽然耳蜗水管确实是连接外淋巴液与脑脊液的通道,但仍缺少证据说明其与脑脊液井喷之间的联系。

综上所述,基于颞骨HRCT的蜗孔宽度联合内听道底上下径预测模型对内耳畸形患者CI中“井喷”具有重要预测价值。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Naples JG, Ruckenstein MJ. Cochlear Implant[J]. *Otolaryngol Clin North Am*,2020,53(1):87-102.
- [2] Chauhan VM, Vishwakarma R. CSF Gusher and Its Management in Cochlear Implant Patient with Enlarged Vestibular Aqueduct[J]. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg*,2019,71(3):315-319.
- [3] 邓健航,汪芹,赖若沙,等.人工耳蜗植入的颅内并发症相关分析[J]. *中华耳科学杂志*,2021,19(6):949-953.
- [4] Hashemi SB,Bozorgi H,Kazemi T,et al. Cerebrospinal fluid gusher in cochlear implant and its associated factors[J]. *Acta Otolaryngol*,2020,140(8):621-625.
- [5] Widmann G,Dejaco D,Luger A,et al. Pre-and post-operative imaging of cochlear implants:a pictorial review[J]. *Insights Imaging*,2020,11(1):93.
- [6] Shi Y,Li Y,Gong Y,et al. Cochlear implants for patients with inner ear malformation: Experience in a cohort of 877 surgeries[J]. *Clin Otolaryngol*,2019,44(4):702-706.
- [7] Loundon N,Leboulanger N,Maillet J,et al. Cochlear implant and inner ear malformation. Proposal for an hyperosmolar therapy at surgery [J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*,2008,72(4):541-547.
- [8] Suk Y, Lee JH, Lee KS. Surgical outcomes after cochlear implantation in children with incomplete partition type I: comparison with deaf children with a normal inner ear structure[J]. *Otol Neurotol*,2015,36(1):e11-17.
- [9] Varadarajan VV,Dayton OL,De Jesus RO,et al. Cochlear basal turn patency in unrecognized perilymph gushers[J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*,2019,126:109601.
- [10] Wong K,Schwam ZG,Kaul VZ,et al. Enlarged Cochlear Aperture as a Risk Factor for Cerebrospinal Fluid Gusher During Cochlear Implant Surgery[J]. *Ear Nose Throat J*,2022,101(2):NP34-NP35.
- [11] Keithley EM. Inner ear immunity[J]. *Hear Res*,2022,419:108518.
- [12] 石琴,张文,田野,等.颞骨HRCT多平面重组及MinIP在评估内耳畸形中的价值[J]. *广东医学*,2019,40(18):2662-2666.
- [13] 陆金山,陈新,陈杰,等. Mondini畸形患儿的影像学特征与术中“井喷”的关系探讨[J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*,2022,36(11):840-844,848.
- [14] 邓忠,龙志清,罗铭华,等.人工耳蜗植入术中因内耳畸形发生“井喷”的危险因素分析[J]. *中国耳鼻咽喉头颈外科*,2022,29(1):33-36.
- [15] Kim BG, Sim NS, Kim SH, et al. Enlarged cochlear aqueducts: a potential route for CSF gushers in patients with enlarged vestibular aqueducts [J]. *Otol Neurotol*,2013,34(9):1660-1665.
- [16] 赵俊锋,赵鑫,陆林,等.正常婴幼儿耳蜗导水管的HRCT表现及其径线与感音神经性耳聋患儿的差异[J]. *中国医学影像技术*,2018,34(4):504-508.
- [17] Li Z, Shi D, Li H, et al. Micro-CT study of the human cochlear aqueduct[J]. *Surg Radiol Anat*,2018,40(6):713-720.

(收稿日期:2023-09-23)