

半规管阻塞术*

蔡沁明¹ 冷杨名¹ 孙宇¹

[摘要] 半规管阻塞术(semicircular canal occlusion, SCO)是一种广泛应用于治疗眩晕相关疾病的手术术式,主要用于治疗良性阵发性位置性眩晕、梅尼埃病、迷路瘘管与上半规管裂综合征等。本综述旨在全面总结 SCO 的发展演变,相关基础研究和临床应用,特别是近年来内镜技术在其中的应用,探讨其在眩晕外科领域中的应用价值。

[关键词] 半规管阻塞术;眩晕;梅尼埃病;耳内镜手术

DOI:10.13201/j.issn.2096-7993.2024.02.008

[中图分类号] R764.9 **[文献标志码]** A

Semicircular canal occlusion

CAI Qinming LENG Yangming SUN Yu

(Department of Otorhinolaryngology Head Neck Surgery, Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, 430022, China)

Corresponding author: SUN Yu, E-mail: sunyu@hust.edu.cn

Abstract Semicircular canal occlusion(SCO) is a surgical technique widely used for treating vertigo symptoms. It is primarily aimed at treating benign paroxysmal positional vertigo(BPPV), Ménière's disease(MD), labyrinthine fistula, and superior semicircular canal dehiscence syndrome, among others. This review aims to comprehensively summarize the development, evolution, relevant basic research, and clinical applications of semicircular canal occlusion, especially the application of endoscopic technology in recent years, and explore its practical value in the field of surgical treatment for vertigo.

Key words semicircular canal occlusion; vertigo; endoscopic ear surgery

眩晕是指没有自身运动时出现的自身运动感觉或是在正常头动时出现扭曲的自身运动感觉^[1]。其中前庭周围性眩晕占有所有眩晕患者的 71%^[2]。如果不及时治疗,周围性眩晕会对患者的生活质量产生不同程度的负面影响。如在就诊 24 h 内未接受治疗的良性阵发性位置性眩晕(benign paroxysmal positional vertigo, BPPV)患者的复发风险会增加一倍以上,而未被识别的老年 BPPV 患者跌倒的风险可能增加 6.5 倍^[3-5]。诊疗方案的选择通常取决于不同的病因和眩晕的严重程度,初始治疗是以药物治疗为主的对症综合治疗,主要通过调节自主神经功能、改善内耳微循环以减轻眩晕症状。大部分的前庭外周性眩晕患者通过药物治疗症状能够得到缓解,但对药物治疗无效的顽固性或复发性眩晕患者,则需根据病情选择相应的外科术式进行治疗。眩晕外科的历史迄今已逾百年。

Frazier 于 1908 年首次开展经后颅中窝入路切断第Ⅷ对颅神经治疗梅尼埃病,为以后的研究与实践奠定了基础^[6]。半规管阻塞术(semicircular canal occlusion, SCO)因其对眩晕的有效控制与良好的听力保留率已广泛应用于临床。同时,大量动物模型和临床研究已经对 SCO 的疗效评价、听觉功能影响和堵塞材料的应用进行了探讨。本文旨在总结既往的研究成果,为临床应用提供参考。

1 SCO 的发展

眩晕外科手术方式基于不同的目的可以分为三类:针对可能的病因与发病机制而进行的手术,针对前庭传导通路的阻断性手术与针对受损前庭及耳蜗功能的重建手术^[7]。SCO 是在半规管骨管上开窗后,用骨粉、筋膜、生物胶等材料进行堵塞,或以激光阻塞或阻断内淋巴液的流动及耳石对壶腹嵴感受器的刺激,以控制眩晕发作,属于第二分类的手术^[8]。Parnes 和 McClure 于 1990 年首次实施经乳突入路后半规管阻塞术(posterior semicircular canal occlusion, PSCO),用于治疗眩晕症状严重且病程持续 1 年以上的 BPPV^[9]。和早期单孔神经切断术比较, PSCO 的手术难度及创伤相

*基金项目:湖北省自然科学基金计划创新群体项目(No: 2023AFA038);国家重点研发计划项目(No: 2021YFF0702300)

¹华中科技大学同济医学院附属协和医院耳鼻咽喉头颈外科(武汉,430022)

通信作者:孙宇, E-mail: sunyu@hust.edu.cn

对较小,因此在近年来得到了广泛的应用,并取得了良好的疗效。近年来,SCO已被应用于治疗晚期无实用听力的梅尼埃病,且取得了显著的治疗效果。SCO术式包括1~3个的半规管阻塞,其中两个半规管阻塞术多为水平半规管联合后半规管阻塞与水平半规管联合上半规管阻塞。在临床上三个半规管阻塞术(triple semicircular canal occlusion, TSCO)应用最为广泛,眩晕控制率也最高^[10]。与传统梅尼埃病手术术式比较,SCO具有如下优势:眩晕控制率和听力保留率更高,耳石器功能的保护更好,术后失平衡时间更短,以及中枢代偿建立更快,从而得到了广泛应用。

2 SCO的基础研究

前庭功能丧失的动物模型已被广泛用于对半规管结构和功能相关的研究,丰富的实验结果为实验性SCO奠定了基础^[11-14]。Ewald等^[15]在19世纪末开展了一种名为Canal plugging的手术,旨在阻断内淋巴的流动并消除壶腹嵴对角加速度刺激的敏感性。过去的观点认为,SCO可完全阻断半规管对角加速度刺激的感受,但不影响前庭神经上皮细胞功能^[11,16]。而后直接传入神经记录和前庭-眼反射(vestibulo-ocular Reflex, VOR)的研究结果表明,SCO可以有效地减弱单个半规管对角加速度刺激的敏感性^[17]。Yin等^[14]通过将豚鼠的内淋巴囊闭塞建立内淋巴积水模型,于术后120 d施行TSCO并观察术后听觉和前庭功能和形态学的改变,发现TSCO可有效消除半规管对旋转和温度刺激的反应,并且对于内淋巴积水是安全的。此后在食蟹猴与松鼠猴等动物模型上,SCO的疗效也得到了验证^[13,18]。

SCO对听觉功能存在潜在的不良影响,约30%的患者会在手术后出现不同程度的听力减退,因此SCO在顽固性眩晕发作并伴有轻、中度听力损失患者中的应用受到了限制^[10]。为阐明单个半规管在外周前庭系统中的作用,以及SCO在临床治疗前庭疾病中的应用,Wang等^[19]对小鼠实施两个半规管阻塞术,并比较小鼠在手术前后手术耳和对侧耳之间的听觉功能和毛细胞形态,结果显示耳蜗和前庭的毛细胞形态近乎正常,未出现毛细胞变性和丢失的迹象,提示两个半规管阻塞术不会破坏小鼠的正常听力。单个半规管阻塞会降低受累壶腹嵴的功能,对其余前庭的功能无明显影响,这个观点在猫和松鼠猴模型上得到了证实^[20-21]。

术后短暂性不平衡、恶心和呕吐是SCO术后常见的症状,一般在2周内可恢复。Zhang等^[22]对豚鼠进行了单侧SCO,并通过体内微透析结合高效液相色谱和电化学检测研究了在前庭内侧核(medial vestibular nucleus, MVN)中5-羟色胺的

变化。结果表明,单侧水平半规管阻塞可增加MVN中的5-羟色胺水平,提示5-羟色胺可能在中枢前庭代偿过程中发挥重要作用。

骨泥、骨粉、筋膜、软骨、纤维蛋白胶等是人类SOC中的常用的填塞材料^[23]。Agrawal等^[24]认为,与骨蜡比较,以骨粉和纤维蛋白胶为填塞材料时,SCO所导致的听力损失和迷路炎的发生率更低,但该研究样本较小。Kwok等^[25]使用上半规管裂综合征沙土鼠模型,比较自体骨粉/骨屑、肌肉、脂肪、人工骨蜡与聚四氟乙烯5种材料封堵上半规管的成功率,结果发现肌肉与脂肪的封堵成功率远小于骨粉、骨蜡与聚四氟乙烯($<50\%$ vs 100% , $P < 0.05$),且骨粉与聚四氟乙烯的不良反应更小。这可能是由于脂肪与肌肉都是软性组织,在未使用蛋白胶等固粘剂固定的情况下,外淋巴流动和压力变化可能导致软性脂肪和肌肉从管腔内挤出。由于其使用方便,且具有良好的物理性能,因此骨蜡被广泛地应用于各类外科手术中,但可能增加中耳组织增生与骨坏死等的不良组织反应。

3 SCO的临床应用

3.1 SCO的适应证

SCO已被广泛用于治疗眩晕疾病,从最早应用于BPPV,而后逐渐推广至梅尼埃病,并成为梅尼埃病常用的外科学术式之一。此外,SCO还可用于治疗迷路瘘管与上半规管裂综合征(superior semicircular canal dehiscence syndrome, SSCD)等疾病。

BPPV是前庭周围性眩晕的最常见病因,其终生患病率、1年患病率和1年发病率分别为2.4%、1.6%和0.6%^[26]。BPPV大多为特发性,确切的病理生理机制尚不清楚,目前公认的发病机制为半规管结石症^[27]。多数患者在接受耳石复位治疗后症状可以得到缓解,但对于少数顽固性BPPV患者,可考虑单孔神经切断术或PSCO^[28]。目前认为,PSCO可通过阻断后半规管中的内淋巴流动,从而治疗后半规管BPPV。相比于单孔神经切断术,PSCO手术难度更低且并发症更少,是目前BPPV外科治疗中应用最为广泛的术式^[29]。我国良性阵发性位置性眩晕诊断和治疗指南(2017)指出,对于诊断清楚、责任半规管明确,经过1年以上规范的耳石复位等综合治疗仍然无效且活动严重受限的难治性患者,可考虑行SCO^[30]。

梅尼埃病是一类内耳疾病,主要表现为反复发作的眩晕,伴有波动性中低频听力损失、耳鸣和耳胀感,眩晕发作的持续时间为20 min~12 h^[31]。其病因与确切的病理生理学至今不明,大多数学者认为MD病理基础是内淋巴液在内耳积聚,当膜迷路压力过高时出现膜迷路破裂,高钾的内淋巴液泄

漏到外淋巴间隙,并和外淋巴混合,从而引发眩晕。梅尼埃病的治疗包括饮食或生活方式的改变,口服药物治疗,鼓室给药及手术治疗。根据我国梅尼埃病诊断和治疗指南(2017),TSCO 适用于四期梅尼埃病患者或部分三期患者、内淋巴囊手术无效、言语识别率小于 50%且有强烈手术意愿的患者^[32]。SCO 是治疗梅尼埃病的重要进展,通过静息半规管功能,基本保留椭圆囊、球囊和耳蜗功能,可保存听力和耳石器功能。

迷路瘘管,也称为局部迷路炎或迷路周围炎,是中耳胆脂瘤常见的并发症,通常由胆脂瘤侵入骨迷路引起^[33]。迷路瘘管的分类和术中处理各不相同,但最常用的手术术式是 SCO。但因填充材料的不同,手术的长期效果可能存在差异。自体骨因术后产生的组织炎症较少而被认为是比较理想的材料^[25]。此外,患者术前眩晕程度、外半规管损伤程度、术前听力和前庭功能都会影响术后耳部症状的恢复,甚至需要二期或多次手术^[34]。

上半规管裂综合征于 1998 年由 Minor 等^[35]首次报告,主要症状为压力或声音诱发的眩晕、骨传导性听觉过敏和搏动性耳鸣,其发病机制可能为迷路内的病理性第三窗。SSCD 目前主要的治疗方法包括经颅中窝入路上半规管堵塞术和经乳突入路上半规管堵塞术。与传统的 SCO 相比,在 SSCD 术中使用筋膜、骨粉和骨屑组合将受累的上半规管堵塞后,仍需再用筋膜和羟基磷灰石水泥重新覆盖颅中窝,从而降低填充物移位的风险^[36]。

3.2 SCO 的手术术式

SCO 的手术术式主要分为 SCO 与 TSCO,也可与其他手术如内淋巴囊减压术联合使用。此外,根据手术入路的选择不同,各种术式之间的疗效与并发症存在差异。传统的 SCO 需要经耳后做切口,磨除颞骨气房,暴露半规管后行 SCO^[28]。

SCO 属于功能保留性手术,传统的 SCO 采用耳后皮肤切口,暴露乳突,行乳突轮廓化,定位后半规管并轮廓化,于半规管骨管开窗。分辨清膜半规管后,将与纤维蛋白胶混合均匀的骨屑团或筋膜块经骨窗填满后半规管管腔,将膜半规管紧压在窗孔对面的骨壁上,填入管腔内的骨屑将会骨化而引起后半规管内完全而永久的阻塞。当后半规管被阻塞后,膜迷路形成盲端,内淋巴不能流动压缩或扩张,因而阻止了嵴帽偏斜,降低了半规管对头部角加速度运动的敏感性,消除了前庭刺激,从而控制了眩晕^[28]。随着高清成像系统的发展,内镜下可以更加清晰地观察中耳的结构,其手术应用范围不断扩大。我们报道了耳内镜下经外耳道入路水平 SCO,用于治疗无实用听力的顽固性梅尼埃病患者,与传统显微镜下 SCO 比较,由于无切口、术后

无须行头部包扎,疼痛相对较轻且无耳周麻木感,患者易于接受^[37]。也有学者进行了经外耳道入路 TSCO 的探索。此外,经外耳道内镜手术也逐步应用于听神经瘤、中耳胆脂瘤等其他耳科疾病^[38-39]。综上所述,耳内镜技术具有独特的优势,通过耳内镜辅助可扩展耳显微手术的视野,并缩小常规耳显微手术径路中不必要的切除范围^[40]。

TSCO 对于梅尼埃病的远期疗效确切,约 30% 的患者出现听力下降,术中需磨除大量骨质,患者术后反应较大。张道宫等^[10]对不同方式半规管阻塞方式的治疗效果进行分析,发现两个半规管阻塞术及一个半规管阻塞虽在听力保留率上较 TSCO 高,但眩晕控制有效率明显低于 TSCO。

有学者曾尝试改良手术方式,如用氩激光行半规管开窗阻塞术。经动物试验证实,通过激光烧灼骨半规管,其热效应可造成膜半规管局部纤维化而闭塞,从而减少内淋巴流动,但存在半规管闭塞不完全的可能^[41]。Kartush 等^[42]应用 CO₂ 激光行半规管开窗阻塞术,即在用电钻磨除半规管骨质开窗后,用 CO₂ 激光直接烧灼膜迷路,使膜半规管皱缩闭塞。此法在术中既可迅速、完全闭塞膜半规管,且降低了膜半规管穿孔和内淋巴漏的风险,减少迷路损伤和术后发生感音神经性聋的可能。此外, Nomura 等^[43]报道了 1 例在中耳和内耳损伤后 1 年发生的重度 BPPV 患者,通过氩激光照射后半规管和外半规管成功缓解眩晕症状。因该例患者在术前存在极重度听力损失,无法评估激光产生的热量对耳蜗造成的影响,虽另外 2 例患者在接受相同能量照射后半规管后听力未见明显下降,但仍需大样本量的研究以证实其安全性。

3.3 SCO 的术后管理

SCO 术涉及内耳,所以存在诱发感音神经性听力损失和前庭功能受损的风险。有研究者就 SCO 对听觉与前庭功能的影响对 6 例 SCO 术后患者进行了为期 6 个月的随访,检测手段主要包括温度试验,视频头脉冲试验,颈性和眼性前庭诱发肌源性电位。研究发现听觉与前庭功能可在受损后出现不同程度的恢复,恢复程度和恢复期的持续时间因患者而异^[44]。因缺乏对前庭功能系统客观的评价,各类研究报告的结果存在差异,系统性随访评估 SCO 对听觉和前庭功能影响非常重要^[45-46]。

既往观点认为前庭与耳蜗的迷路液系统相对独立,但多数研究报道患者可能出现一过性的听力损失,尤其是低频或高频容易受到 SCO 影响^[47]。在大多数情况下,SCO 术后会发生混合性听力损失,但在持续数周后可多数可恢复到术前水平^[48-49]。尽管大多数患者的前庭功能和听力在随访期间持续恢复,但仍有一部分患者会出现永久性

损伤。一项小样本回顾性研究报道,永久性听力损失的发生率约为16.7%,前庭功能受损的发生率约为10%^[47]。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Bisdorff A, Von Brevern M, Lempert T, et al. Classification of vestibular symptoms: towards an international classification of vestibular disorders [J]. *J Vestib Res*, 2009, 19(1-2): 1-13.
- [2] Neuhauser H, Leopold M, von Brevern M, et al. The interrelations of migraine, vertigo, and migrainous vertigo[J]. *Neurology*, 2001, 56(4): 436-441.
- [3] Kerber KA, Newman-Toker DE. Misdiagnosing Dizzy Patients: Common Pitfalls in Clinical Practice [J]. *Neurol Clin*, 2015, 33(3): 565-575.
- [4] Benecke H, Agus S, Kuessner D, et al. The Burden and Impact of Vertigo: Findings from the REVERT Patient Registry[J]. *Front Neurol*, 2013, 4: 136.
- [5] Oghalai JS, Manolidis S, Barth JL, et al. Unrecognized benign paroxysmal positional vertigo in elderly patients[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2000, 122(5): 630-634.
- [6] Frazier CH. Intracranial division of the auditory nerve for persistent aural vertigo[J]. *Surg Gynecol Obstet*, 1912, 15: 524-529.
- [7] 王海波. 积极推动现代眩晕外科的发展[J]. *中华耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2015, 50(9): 710-711.
- [8] Zhang D, Fan Z, Han Y, et al. Triple semicircular canal plugging: a novel modality for the treatment of intractable Meniere's disease [J]. *Acta Otolaryngol*, 2016, 136(12): 1230-1235.
- [9] Parnes LS, McClure JA. Posterior semicircular canal occlusion for intractable benign paroxysmal positional vertigo[J]. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 1990, 99(5 Pt 1): 330-334.
- [10] 张道宫, 樊兆民, 韩月臣, 等. 不同方式半规管阻塞术治疗顽固性梅尼埃病疗效分析[J]. *中华耳科学杂志*, 2016, 14(4): 446-50.
- [11] Böhmer A, Henn V, Suzuki J. Vestibulo-ocular reflexes after selective plugging of the semicircular canals in the monkey—response plane determinations [J]. *Brain Res*, 1985, 326(2): 291-298.
- [12] Ghanem TA, Rabbitt RD, Tresco PA. Three-dimensional reconstruction of the membranous vestibular labyrinth in the toadfish, *Opsanus tau* [J]. *Hear Res*, 1998, 124(1-2): 27-43.
- [13] Yakushin SB, Kolesnikova OV, Cohen B, et al. Complementary gain modifications of the cervico-ocular (COR) and angular vestibulo-ocular (aVOR) reflexes after canal plugging[J]. *Exp Brain Res*, 2011, 210(3-4): 549-560.
- [14] Yin S, Yu D, Li M, et al. Triple semicircular canal occlusion in guinea pigs with endolymphatic hydrops [J]. *Otol Neurotol*, 2006, 27(1): 78-85.
- [15] Ewald J. Physiologische untersuchungen ueber das Endorgan des nervus Octavus [M]. Bergmann, 1892: 324-324.
- [16] Smouha EE, Inouye M, Sobol LL, et al. Histologic changes after semicircular canal occlusion in guinea pigs[J]. *Am J Otol*, 1999, 20(5): 632-638.
- [17] Migliaccio AA, Schubert MC, Jiradejvong P, et al. The three-dimensional vestibulo-ocular reflex evoked by high-acceleration rotations in the squirrel monkey[J]. *Exp Brain Res*, 2004, 159(4): 433-446.
- [18] Yakushin SB, Dai M, Raphan T, et al. Changes in the vestibulo-ocular reflex after plugging of the semicircular canals[J]. *Ann N Y Acad Sci*, 2001, 942: 287-299.
- [19] Wang T, Liu H, He DZ, et al. Occlusion of two semicircular canals does not disrupt normal hearing in adult mice[J]. *Front Neurol*, 2022, 13: 997367.
- [20] Money KE, Scott JW. Functions of separate sensory receptors of nonauditory labyrinth of the cat[J]. *Am J Physiol*, 1962, 202: 1211-1220.
- [21] Paige GD. Vestibuloocular reflex and its interactions with visual following mechanisms in the squirrel monkey. II. Response characteristics and plasticity following unilateral inactivation of horizontal canal [J]. *J Neurophysiol*, 1983, 49(1): 152-168.
- [22] Zhang K, Li Q, Xu J, et al. Unilateral horizontal semicircular canal occlusion induces serotonin increase in medial vestibular nuclei: a study using microdialysis in vivo coupled with HPLC-ECD[J]. *Analyst*, 2015, 140(11): 3846-3851.
- [23] Jung DH, Lookabaugh SA, Owoc MS, et al. Dizziness is more prevalent than autophony among patients who have undergone repair of superior canal dehiscence [J]. *Otol Neurotol*, 2015, 36(1): 126-132.
- [24] Agrawal SK, Parnes LS. Transmastoid superior semicircular canal occlusion [J]. *Otol Neurotol*, 2008, 29(3): 363-367.
- [25] Kwok P, Gleich O, Spruss T, et al. Different Materials for Plugging a Dehiscent Superior Semicircular Canal: A Comparative Histologic Study Using a Gerbil Model[J]. *Otol Neurotol*, 2019, 40(5): e532-e541.
- [26] Neuhauser HK. The epidemiology of dizziness and vertigo[J]. *Handb Clin Neurol*, 2016, 137: 67-82.
- [27] Lee SH, Kim JS. Benign paroxysmal positional vertigo [J]. *J Clin Neurol*, 2010, 6(2): 51-63.
- [28] Ramakrishna J, Goebel JA, Parnes LS. Efficacy and safety of bilateral posterior canal occlusion in patients with refractory benign paroxysmal positional vertigo: case report series[J]. *Otol Neurotol*, 2012, 33(4): 640-642.
- [29] Parnes LS, Agrawal SK, Atlas J. Diagnosis and management of benign paroxysmal positional vertigo (BP-

- PV[J]. *CMAJ*, 2003, 169(7): 681-693.
- [30] 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. 良性阵发性位置性眩晕诊断和治疗指南(2017)[J]. *中华耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2017, 52(3): 173-177.
- [31] Basura GJ, Adams ME, Monfared A, et al. Clinical Practice Guideline: Ménière's Disease[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2020, 162(2_suppl): S1-S55.
- [32] 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. 梅尼埃病诊断和治疗指南(2017)[J]. *中华耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2017, 52(3): 167-172.
- [33] Rosito L, Canali I, Teixeira A, et al. Cholesteatoma labyrinthine fistula: prevalence and impact[J]. *Braz J Otorhinolaryngol*, 2019, 85(2): 222-227.
- [34] Meng W, Cai M, Gao Y, et al. Analysis of postoperative effects of different semicircular canal surgical technique in patients with labyrinthine fistulas[J]. *Front Neurosci*, 2022, 16: 1032087.
- [35] Minor LB, Solomon D, Zinreich JS, et al. Sound-and/or pressure-induced vertigo due to bone dehiscence of the superior semicircular canal[J]. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 1998, 124(3): 249-258.
- [36] Ward BK, Carey JP, Minor LB. Superior Canal Dehiscence Syndrome: Lessons from the First 20 Years[J]. *Front Neurol*, 2017, 8: 177.
- [37] Wang E, Liu B, Wang Y, et al. Occlusion of the Lateral Semicircular Canal Through the External Ear Canal: A Case Report[J]. *Ear Nose Throat J*, 2022, 101(10): NP447-NP450.
- [38] 袁杰, 袁兰来, 孙宇. 耳内镜下经外耳道-鼓岬入路听神经瘤切除 1 例及文献回顾[J]. *中华耳科学杂志*, 2021, 19(4): 728-730.
- [39] 王恩浩, 于进涛, 孙宇. 耳内镜下中耳胆脂瘤手术分型探讨[J]. *中国耳鼻咽喉头颈外科*, 2019, 26(7): 366-369.
- [40] 孔维佳, 丁秀勇, 王云峰, 等. 耳内镜手术是昙花一现还是技术革命? [J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2018, 32(6): 427-434.
- [41] Anthony PF. Utricular macular ablation for benign paroxysmal positional vertigo[J]. *Ear Nose Throat J*, 1996, 75(7): 416-421.
- [42] Kartush JM, Sargent EW. Posterior semicircular canal occlusion for benign paroxysmal positional vertigo--CO₂ laser-assisted technique: preliminary results[J]. *Laryngoscope*, 1995, 105(3 Pt 1): 268-274.
- [43] Nomura Y, Kobayashi H. Laser irradiation of the semicircular canal: occlusion of the canal or duct[J]. *Acta Otolaryngol*, 2012, 132(1): 106-111.
- [44] Stultiens J, Guinand N, Van Rompaey V, et al. The resilience of the inner ear-vestibular and audiometric impact of transmastoid semicircular canal plugging[J]. *J Neurol*, 2022, 269(10): 5229-5238.
- [45] Maas B, van der Zaag-Loonen HJ, van Benthem P, et al. Effectiveness of Canal Occlusion for Intractable Posterior Canal Benign Paroxysmal Positional Vertigo: A Systematic Review[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2020, 162(1): 40-49.
- [46] Mantokoudis G, Saber Tehrani AS, Wong AL, et al. Adaptation and Compensation of Vestibular Responses Following Superior Canal Dehiscence Surgery[J]. *Otol Neurotol*, 2016, 37(9): 1399-1405.
- [47] Ahmed RM, Pohl DV, MacDougall HG, et al. Posterior semicircular canal occlusion for intractable benign positional vertigo: outcome in 55 ears in 53 patients operated upon over 20 years[J]. *J Laryngol Otol*, 2012, 126(7): 677-682.
- [48] Agrawal SK, Parnes LS. Human experience with canal plugging[J]. *Ann N Y Acad Sci*, 2001, 942: 300-305.
- [49] Walsh RM, Bath AP, Cullen JR, et al. Long-term results of posterior semicircular canal occlusion for intractable benign paroxysmal positional vertigo[J]. *Clin Otolaryngol Allied Sci*, 1999, 24(4): 316-323.

(收稿日期: 2023-11-20)