

DOI:10.11798/j.issn.1007-1520.202220001

· 专家论坛 ·

影像学检查在耳硬化症诊治中的应用及研究进展

梅凌云,张帅

(中南大学湘雅医院耳鼻咽喉头颈外科耳鼻咽喉重大疾病研究所湖南省重点实验室,湖南长沙410008)



专家简介 梅凌云,医学博士,主任医师,教授,博士生导师。中南大学湘雅医院耳科主任兼耳鼻咽喉科教研室副主任。从事临床工作二十余年,专注耳科疾病诊治,擅长耳硬化症、各类中耳炎、外耳中耳胆脂瘤、周围性面瘫、梅尼埃病的显微外科及内镜外科手术,积累完成了大量的手术例数;同时擅长耳鸣及眩晕的内科诊治、遗传性耳聋的基因诊断。作为访问学者,曾赴美国 HOUSE 耳研所、耶鲁大学、迈阿密大学研修。中国医师协会显微外科分会耳神经及侧颅底显微修复专业委员会委员,中国医疗保健国际交流促进会耳内科分会常委,中国老年医学耳科分会常委,湖南省医学会耳鼻咽喉专业委员会委员兼耳外科学组及耳内科学组副组长,湖南防聋治聋技术指导组副组长。《中华耳鼻咽喉头颈外科杂志》审稿人,《中华耳科学杂志》《听力及言语疾病杂志》《中国耳鼻咽喉颅底外科杂志》编委。在《Genetics in Medicine》《Gene Therapy》等国内外权威期刊以第一及通信作者发表论著20余篇,其中SCI论文10余篇。主持国家自然科学基金面上项目2项,参加973、863及国家自然科学基金6项,主持省部级课题4项。作为主要参加人获得国家科技进步二等奖1项,湖南省科技进步二等奖1项。

摘要: 耳硬化症是一种表现为鼓膜完整的传导性或混合性听力下降的疾病。耳硬化症的诊断主要根据患者病史和准确的听力学检查,影像学起到辅助作用。但近年来随着影像学技术的发展,影像学检查在耳硬化症的诊疗过程中愈加重要,从术前诊断、鉴别诊断、术前评估手术难度、预测并发症,到术后分析并发症、评估手术疗效等都起到非常重要的作用。本文通过查阅相关文献资料,对耳硬化症影像学研究进展进行阐述。

关键词:耳硬化症;颞骨高分辨率CT;锥形束计算机断层扫描;核磁共振成像
中图分类号:R764.3

Application and research progress of imaging examination in the diagnosis and treatment of otosclerosis

MEI Lingyun, ZHANG Shuai

(Department of Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery, Xiangya Hospital, Central South University, Key Laboratory of Otolaryngology Major Disease Research of Hunan Province, Changsha 410008, China)

Abstract: Otosclerosis is a disease that manifests as a complete conductive or mixed hearing loss with intact tympanic membrane. The diagnosis of otosclerosis mainly relies on a detailed medical history and accurate audiological examination, and imaging plays a supporting role. In recent years, with the development of technology, imaging has become more and more important in the diagnosis and treatment of otosclerosis, such as preoperative diagnosis, differential diagnosis, preoperative evaluation of surgical difficulty, prediction of complications, postoperative analysis of complications, and evaluation of surgical effect and so on. This article reviews the research progress of otosclerosis imaging by consulting related literature.

Keywords: Otosclerosis; High resolution computed tomography of temporal bone; Cone beam computed tomography; Magnetic resonance imaging

基金项目:国家自然科学基金面上项目(81873705,82171154)。

第一作者简介:梅凌云,女,博士生导师,主任医师,教授;张帅,女,在读博士研究生。

通信作者:梅凌云,Email:entmly@163.com

耳硬化症是一种以耳囊骨质吸收、血管增生和骨质再沉积为病理特征的疾病^[1]。临床上表现为鼓膜完整的听力下降,同时可伴有耳鸣、willis 误听、眩晕等。根据影像学上发病位置的不同,耳硬化症被分为镫骨型耳硬化症、耳蜗型耳硬化症、混合型耳硬化症。耳硬化症的诊断主要通过患者的临床表现及听力学,最终确诊仍然是手术探查。术中确诊并植入“人工镫骨”假体或者人工耳蜗等来改善听力,手术效果肯定,关键是早期识别诊断耳硬化症十分重要。

近年来影像学在耳硬化症的诊治过程中所扮演的角色在发生改变,从最初的诊断、鉴别诊断到现在的术前预测、术后评估等。越来越多的影像学技术如颞骨高分辨率 CT (high resolution computed tomography, HRCT)、锥形束计算机断层扫描 (cone-beam computed tomography, CBCT)、核磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI)、单光子发射计算机断层扫描 (single photon emission computed tomography, SPECT) 和光学相干断层成像 (optical coherence tomography, OCT) 等,在临床中得到应用。

1 颞骨 HRCT

颞骨 HRCT 在显示颞骨正常的细微结构的同时也能识别异常的软组织灶,是颞骨疾病诊断的重要手段。在耳硬化症方面,颞骨 HRCT 主要应用在耳硬化症的诊断和鉴别诊断上。由于耳硬化症的影像学表现细微,对于非流行发病地区和经验丰富的医生来说,单纯依靠 HRCT 诊断困难。因此在我国,颞骨 HRCT 更多的是作为鉴别诊断的工具,以排除其他中耳疾病。但是,随着 CT 辅助技术的发展,颞骨 HRCT 已经应用于耳硬化症的方方面面。

1.1 诊断的敏感性

文献报道颞骨 HRCT 诊断耳硬化症的敏感性为 34% ~ 95%, 特异性为 95% ~ 100%^[2-11]。造成颞骨 HRCT 诊断敏感性较大差异的原因有以下几种可能:①与病灶是否处于活动期有关。Karosi 等^[12]的研究发现颞骨 HRCT 对活动期耳硬化症诊断的敏感性(76.3%) 高于对非活动期耳硬化症诊断的敏感性(61.9%)。因为不同时期耳硬化症的病理特征不同:活动期耳硬化症病理过程处于“骨质吸收”和“海绵状骨形成”阶段,在颞骨 HRCT 上呈容易被肉眼识别的低密度灶^[2];非活动期耳硬化症病理过程处于“骨质再沉积”阶段,这一时期的硬化灶的密度

可与周围正常骨质的密度相同,因此颞骨 HRCT 对非活动期耳硬化症诊断的敏感性降低;②与阅片人的经验有关。耳硬化症影像学表现微小,缺乏大量阅片经验就会出现漏诊;③与病变的范围有关。有研究指出术前颞骨 HRCT 阴性的患者术中探查发现硬化灶多仅局限于镫骨前弓,而术前颞骨 HRCT 阳性的患者术中表现为弥漫性或者同时具有多个硬化灶的病变^[13];④与影像学技术有关。笔者发现通过阅读打印出来的胶片,常因层面跨度较大,洗片质量差而容易漏诊,运用电脑工作站逐层连续阅片能更好地识别病灶。CT 辅助技术发展日新月异,在颞骨疾病诊断、治疗等方面发挥重要作用^[14]。董季平教授团队通过曲面重组 (curve planner reformation, CPR) 和多平面重组 (multiplanar reconstruction, MPR) 技术不仅能更直观、清晰显示病变,同时能识别一些重要结构的受累情况以及结构变异^[15]。尤其是通过听骨链的重组,将镫骨底板、前后弓、前庭窗等位置完整细致呈现,提高诊断率,避免漏诊。Naumann 等^[5]通过 MPR 技术,可以将颞骨 HRCT 诊断的敏感性从 74% 提高到 85%。最近一篇文献有创意地提出通过“反转密度”技术—即在低密度背景下将耳硬化灶转化为高密度病变,从而提高诊断的灵敏度^[16]。

1.2 预测听力学结果

耳硬化症颞骨 HRCT 表现与听力学之间是否相关一直存在争议。一些研究发现卵圆窗前区的低密度灶的 CT 值与低频区的传导性听力损失有关,CT 值越高,气导阈值越高^[17-19]。这可能是由于高 CT 值的患者多处于“骨质再沉积”的病理阶段,新生编织骨影响镫骨活动,导致空气传导声音能力下降。一些文献报道耳硬化症颞骨 HRCT 上耳蜗周围病变的严重程度与骨导阈值有关^[4, 7, 9, 20]。这可能是硬化灶释放溶解酶进入外淋巴所致^[21]。Marx 等^[9]发现广泛的硬化灶会增加术后感音神经性耳聋 (sensorineural hearing loss, SNHL) 发生的几率,有广泛病变的患者与只有孤立病灶的患者相比术后骨导阈值改善可能性降低。在此之前,Hueb 等^[22]也从组织学角度发现两个及两个以上的侵犯骨内膜的硬化灶会影响骨导阈值。不少研究已经证明,与镫骨型耳硬化症相比,耳蜗型耳硬化症的气导阈值、骨导阈值、骨气导差均较高^[7, 9, 20]。有些研究将耳硬化症颞骨 HRCT 表现进行分级来探索 HRCT 与听力的关系^[4-5, 20, 23-26]。在一项包括 93 耳的研究中对比常用的 Veillon^[27] 分级系统与 Fraysse 分级系统^[7],发现

Veillon 分级系统侧重于反应骨导阈值,Fraysse 的分级系统反应圆窗损害情况,与气导阈值相关^[28]。但是 Yagi 等^[29]的研究中发现耳硬化症患者颞骨 HRCT 是否阳性以及颞骨 HRCT 上病灶的数量与听力学之间无明显相关性,Min^[8]和 Png^[30]等的研究也得到相似的结论。

1.3 测量镫骨底板厚度

耳囊由骨内膜层、中间软骨内层、骨外膜层组成。当耳硬化症进展到“骨质再沉积”阶段,新生的致密编织骨替代中间软骨内层。这个时期新生骨的密度与正常骨质可能无明显差异^[31-32]。但是新生骨的体积可能比原来的骨质更大,影像学上表现为耳囊的不规则增厚^[33]。Sanghan 等^[34]通过测量发现耳硬化症患者与听力正常的个体在耳囊轮廓和卵圆窗前缘前外侧的厚度上存在差异,并且这种通过颞骨 HRCT 测量耳囊轮廓来诊断耳硬化症的方法可达 98.1% 的特异性。

超高分辨率 CT (ultra high resolution computed tomography, U-HRCT) 具有良好的空间分辨率,目前已应用于肺、脑、小血管等成像中^[35-36]。在耳显微外科中,U-HRCT 也已经用于分辨听骨链的微小病变以及内耳的病变^[37-38]。最近有研究通过 U-HRCT 测量耳硬化症患者与正常人镫骨底板厚度,发现耳硬化症患者的镫骨底板较正常人镫骨底板明显增厚^[39],这为耳硬化症的诊断提供新的思路和手段。但该研究的对象只有 12 例,因此还需要进一步扩大研究对象来明确 U-HRCT 在耳硬化症的应用价值。

1.4 预测植入假体长度

影响人工镫骨手术成功与否的一个重要因素就是人工听小骨假体植入深度是否合适。如果人工听小骨假体植入过短,声音刺激不能最佳地传导到内耳,可能会导致声音失真^[40-41]。植入过长则会刺激迷路,可能导致眩晕或不平衡感,严重时甚至会导致 SNHL^[42-43]。多项研究尝试通过术前颞骨 HRCT 来预测人工镫骨合适的植入长度^[44-48]。目前使用较多的是依据砧骨长脚到镫骨底板的长度来进行测量,但是这种影像学测量方法存在误差,大多数术前颞骨 HRCT 测量的长度略短于术中测量的长度^[49]。因此目前仍然没有公认的精确测量方法来预测镫骨假体植入长度。但对于双侧耳硬化症,HRCT 可以根据第一侧耳手术的人工镫骨显影,选择第二侧耳使用合适长度的人工镫骨。

1.5 预测手术难度

镫骨手术的难度与面神经的位置、面神经是否

裸露、镫骨底板是否浮动和硬化灶的面积等有关。其中面神经是术前最容易间接评估的解剖结构。面神经低垂在 HRCT 上表现为卵圆窗狭窄,这可能导致术中卵圆窗暴露不佳增加手术难度甚至因此而被迫中止手术。有研究表明约 7% 的镫骨手术有不同程度的面神经悬吊在卵圆窗窗口上方^[50]。术前阅片需要阅片者的专业知识,判断面神经的位置是否真正影响手术更多的是经验性的评估。已经有一些研究尝试将卵圆窗宽度量化来预测手术难度并提前准备手术预案。但是不同的研究对于卵圆窗狭窄的定义不同,Gristwood 等^[51]将卵圆窗宽度小于 0.8 mm 定义为卵圆窗狭窄,而 Parra^[52]和 Ukkola-Pons^[53]则将这一临界值分别提升至 1.1 mm 和 1.3 mm。由于人种、测量工具等不同,卵圆窗狭窄目前尚无统一,因此不同地区的研究组需要根据患者实际情况制定个性化的临界值。

面神经除了解剖位置变异对手术难度有影响外,面神经的骨管是否完整也对手术有重要影响,裸露的面神经会增加术后面瘫的风险。文献报道有 2.7% ~ 29.5% 的患者面神经鼓室段有裸露^[52, 54-55]。因此通过术前评估颞骨 HRCT 上面神经骨管是否完整可避免面瘫风险。

2 CBCT

CBCT 是一种广泛应用于口腔科学领域的影像学技术。CBCT 的层厚范围为 0.075 ~ 0.5 mm,辐射剂量是颞骨 HRCT 的 1% ~ 10%^[24]。CBCT 扫描过程耗时约 20 ~ 40 s,重建分析时间不到 2 min, CBCT 这种耗时短的优点能提高检测效率^[24, 56]。CBCT 除了辐射剂量小、检测效率高外,对骨性疾病具有明显的检测优势和较高的分辨率。已经有一些研究探讨了其在颞骨异常诊断中的用途^[57]。随着智能分析软件的进步,CBCT 诊断能力在不断提高。

Redfors^[58]和 Debeaube^[59]等比较 CBCT 与颞骨 HRCT 对耳硬化症的诊断价值,发现对于检测低密度病变,CBCT 不亚于颞骨 HRCT。Liktors 等^[57]的研究也表明 CBCT 对经组织学确诊的活动性耳硬化症有高敏感性,Dahmani-Causse 等^[60]发现使用 CBCT 测量镫骨底板的厚度更接近于真实厚度。这种对骨质结构有更好分辨率的优势也有助于对面神经的术前评估^[59]。CBCT 放射性低且检查时间短,术后行 CBCT 检查是一种方便可行的评估手术并发症的检查手段。Hodez 等^[61]认为 CBCT 相较于颞骨 HRCT

而言,金属伪影小,能更准确地评估假体植入的深度,能对可能发生的并发症早期干预。但是 CBCT 也有局限性,CBCT 只能识别 1 mm 的微小浅表的病灶和 CT 值密度变化为 200 Hu 的病例。多项研究报告 CBCT 对硬化期耳硬化症没有诊断价值^[7, 57, 62-63]。因此应结合患者实际,选择合适的检查手段进行评估。

3 MRI

临床上部分耳硬化症患者是以耳鸣为主诉就诊,在接诊这类患者时,临床医生更多的是选择 MRI 来排除蜗后病变。相比较颞骨 HRCT,临床医生对耳硬化症 MRI 的表现比较陌生,特别是在临床没有怀疑耳硬化症的情况下,这就造成了诊断困难^[64]。回顾文献,也有一部分病例报道 MRI 作为诊断耳硬化症的一线手段^[64-65]。

3.1 诊断耳硬化症

耳硬化症 MRI 表现为耳硬化症海绵化病灶在 MRI 上表现 T1 中等信号影,增强后可见迷路周、蜗周轻-中度强化,有些可表现为蜗周 T2 高信号影,硬化期的耳硬化灶与正常骨质的表现类似,很难通过 MRI 诊断^[64-66]。需要注意的是耳硬化症 MRI 表现应该与一些表现为耳囊骨质海绵化的全身疾病相区别,比如 Vander Hoeve 综合征、Paget's 病等,这些疾病常伴有其他临床表现以及全身其他骨质受累,因此不难鉴别。

3.2 探讨机制和指导治疗

耳硬化症除了听力下降和耳鸣外,一部分患者可伴有眩晕等其他前庭症状。眩晕的发生可能与内淋巴水肿有关,有组织病理学研究已经发现耳硬化症与内淋巴水肿同时存在的现象^[67]。MRI 3D-Flair 是一种评估内淋巴状态和血-迷路屏障(blood-labyrinth barrier, BLB)通透性的技术。Flair 序列是一种 T2 加权序列,通常应用于神经放射学,它可以在脑脊液受到抑制的情况下显示脑组织的结构。3D-Flair 序列可在脂肪被抑制时识别脑脊液中蛋白质浓度的改变或迷路内液体的改变,这种改变表现为高强度信号。

Lombardo 等^[68]已经证明,在耳硬化症的活动性阶段,海绵状软骨内膜的充血和静脉瘀滞会导致 BLB 损伤。BLB 受损时,钆造影剂在迷路中聚集, MRI 上表现为耳蜗周间隙信号增强^[69]。Berrettini 等^[70]通过 MRI 钆造影剂对比显示耳蜗型耳硬化症

BLB 损伤情况,并且通过建立钆造影剂注入后 MRI 三种不同表现模式来推测耳硬化症发展阶段,以此来指导治疗。

3.3 预测术后并发症

Wang 等^[71-72]通过 MRI 半定量分析发现,耳硬化症患者前庭内淋巴水肿发生率分别为 26% 和 56%。肿胀的内淋巴更容易被“人工听小骨”假体刺破,因此这类患者术后发生 SNHL 的几率大大增加。镫骨手术是治疗耳硬化症一种有效的方法,但是术后 SNHL 的发生对患者产生极大影响。因此术前通过 MRI 评估内淋巴状态对避免术后严重并发症的发生至关重要。

4 SPECT

SPECT 是一种属于核医学范畴的检查技术,将 SPECT 和 CT 技术相结合提高了成像的精准性。SPECT/CT 广泛应用于恶性肿瘤、冠心病、肺动脉高压、癫痫和骨关节疾病中。已经有些研究通过 SPECT/CT 技术来诊断和评估耳硬化症。这种方法是利用钨 99 标记的双磷酸盐对活性耳海绵病灶中羟基磷灰石有高吸附作用的原理,从而获得有关耳硬化症代谢活动的信息。Berrettini 等^[73]通过 SPECT/CT 发现骨放射性的表现与混合听力损失患者的感音神经损害的严重程度呈正相关,和患者的年龄之间呈负相关,该项研究证明了 SPECT/CT 在晚期耳硬化症诊断中也具有一定有效性。

5 OCT

OCT 是一种利用生物组织的光的反射和散射来生成高分辨率体内图像的成像方式。OCT 最初应用于视网膜和冠状动脉的成像。在 2001 年的一项对尸体颞骨的研究中首次证明了 OCT 能通过完整的鼓膜生成 15 mm 分辨率的图像,达到对中耳结构进行无创的可视化^[74]。OCT 多普勒振动测量(OCT-DV)是一种 OCT 技术,能够通过完整的鼓膜来测量纯音刺激下中耳结构的振动^[75]。通过 OCT-DV 技术将耳硬化症患者与正常对照进行比较,发现该项技术诊断镫骨固定的敏感性和特异性分别为 100% 和 98%。OCT-DV 还具有空间分辨能力,例如,区分锤骨固定和镫骨固定^[76]。这种术前定位,可为手术计划和患者咨询提供帮助。但是 OCT 对骨组织穿透能力有限,因此在评估耳蜗及蜗后病变

有局限性^[77]。

6 小结

综上所述,随着影像学技术手段的日新月异,影像学检查在耳硬化症患者的整个围手术期都有重要作用。耳硬化症通过手术治疗效果已经得到认可。如何早期识别诊断、如何在术前预测手术难度以及预测术后的并发症以便于术中规避相关风险,都一定程度上依赖于影像学技术。影像学已经不仅仅是起到诊断的作用,因此临床医生需要对各种影像学技术手段有所了解,对不同的患者以及疾病不同阶段有针对性的选择合适的影像学技术手段,从而达到对患者的利益最大化。

参考文献:

- [1] Quesnel AM, Ishai R, McKenna MJ. Otosclerosis: temporal bone pathology[J]. *Otolaryngol Clin North Am*, 2018, 51(2): 291 - 303.
- [2] Wolfovitz A, Luntz M. Impact of imaging in management of otosclerosis[J]. *Otolaryngol Clin North Am*, 2018, 51(2): 343 - 355.
- [3] Kanona H, Rana I, Offiah C, et al. Importance of a dedicated neuroradiologist in reporting high-resolution computed tomography for otosclerosis: a retrospective comparison study of 40 patients [J]. *J Laryngol Otol*, 2017, 131(6): 492 - 496.
- [4] Kiyomizu K, Tono T, Yang D, et al. Correlation of CT analysis and audiometry in Japanese otosclerosis[J]. *Auris Nasus Larynx*, 2004, 31(2): 125 - 129.
- [5] Naumann IC, Porcellini B, Fisch U. Otosclerosis; incidence of positive findings on high-resolution computed tomography and their correlation to audiological test data[J]. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2005, 114(9): 709 - 716.
- [6] Vicente Ade O, Yamashita HK, Albernaz PL, et al. Computed tomography in the diagnosis of otosclerosis[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2006, 134(4): 685 - 692.
- [7] Lagleyre S, Sorrentino T, Calmels MN, et al. Reliability of high-resolution CT scan in diagnosis of otosclerosis[J]. *Otol Neurotol*, 2009, 30(8): 1152 - 1159.
- [8] Min JY, Chung WH, Lee WY, et al. Otosclerosis: incidence of positive findings on temporal bone computed tomography (TBCT) and audiometric correlation in Korean patients [J]. *Auris Nasus Larynx*, 2010, 37(1): 23 - 28.
- [9] Marx M, Lagleyre S, Escudé B, et al. Correlations between CT scan findings and hearing thresholds in otosclerosis[J]. *Acta Otolaryngol*, 2011, 131(4): 351 - 357.
- [10] Quesnel AM, Moonis G, Appel J, et al. Correlation of computed tomography with histopathology in otosclerosis[J]. *Otol Neurotol*, 2013, 34(1): 22 - 28.
- [11] Kanzara T, Virk JS. Diagnostic performance of high resolution computed tomography in otosclerosis[J]. *World J Clin Cases*, 2017, 5(7): 286 - 291.
- [12] Karosi T, Csomor P, Sziklai I. The value of HRCT in stapes fixations corresponding to hearing thresholds and histologic findings [J]. *Otol Neurotol*, 2012, 33(8): 1300 - 1307.
- [13] Maxwell AK, Shokry MH, Master A, et al. Sensitivity of high-resolution computed tomography in otosclerosis patients undergoing primary stapedotomy[J]. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2020, 129(9): 918 - 923.
- [14] 黄思达, 吴学文, 金毅, 等. 三维重建对耳内镜下鼓峡手术参考价值的初步探究 [J]. *中华耳科学杂志*, 2018, 16(5): 623 - 628.
- [15] 马鸣岳, 董季平, 杨想春, 等. 高分辨率 CT 在耳硬化症诊断中的应用 [J]. *实用放射学杂志*, 2013, 29(5): 722 - 725.
- [16] Yamashita K, Hiwatashi A, Togao O, et al. Additive value of "otosclerosis-weighted" images for the CT diagnosis of fenestral otosclerosis[J]. *Acta Radiol*, 2017, 58(10): 1215 - 1221.
- [17] Kutlar G, Koyuncu M, Elmali M, et al. Are computed tomography and densitometric measurements useful in otosclerosis with mixed hearing loss? A retrospective clinical study[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2014, 271(9): 2421 - 2425.
- [18] Kawase S, Naganawa S, Sone M, et al. Relationship between CT densitometry with a slice thickness of 0.5 mm and audiometry in otosclerosis[J]. *Eur Radiol*, 2006, 16(6): 1367 - 1373.
- [19] Zhu MM, Sha Y, Zhuang PY, et al. Relationship between high-resolution computed tomography densitometry and audiometry in otosclerosis[J]. *Auris Nasus Larynx*, 2010, 37(6): 669 - 675.
- [20] Wycherly BJ, Berkowitz F, Noone AM, et al. Computed tomography and otosclerosis: a practical method to correlate the sites affected to hearing loss[J]. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2010, 119(12): 789 - 794.
- [21] Kabbara B, Gauche C, Calmels MN, et al. Decisive criteria between stapedotomy and cochlear implantation in patients with far advanced otosclerosis[J]. *Otol Neurotol*, 2015, 36(3): e73 - e78.
- [22] Hueb MM, Goycoolea MV, Paparella MM, et al. Otosclerosis: the University of Minnesota temporal bone collection[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 1991, 105(3): 396 - 405.
- [23] Shin YJ, Fraysse B, Deguine O, et al. Sensorineural hearing loss and otosclerosis: a clinical and radiologic survey of 437 cases[J]. *Acta Otolaryngol*, 2001, 121(2): 200 - 204.
- [24] Grayeli AB, Yrieix CS, Imauchi Y, et al. Temporal bone density measurements using CT in otosclerosis [J]. *Acta Otolaryngol*, 2004, 124(10): 1136 - 1140.
- [25] Rotteveel JC, Proops DW, Ramsden RT, et al. Cochlear implantation in 53 patients with otosclerosis: demographics, computed tomographic scanning, surgery, and complications[J]. *Otol Neurotol*, 2004, 25(6): 943 - 952.
- [26] Lee TC, Aviv RI, Chen JM, et al. CT grading of otosclerosis[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2009, 30(7): 1435 - 1439.

- [27] Veillon F, Stierle JL, Dussaix J, et al. [Otosclerosis imaging: matching clinical and imaging data][J]. *J Radiol*, 2006, 87(11 Pt 2): 1756 – 1764.
- [28] Meranger A, David A, Beigner BM, et al. Audiometric results of stapedotomy surgery for otosclerosis: influence of the radiological stage[J]. *Otol Neurotol*, 2019, 40(2): e75 – e81.
- [29] Yagi C, Morita Y, Takahashi K, et al. Otosclerosis: anatomical distribution of otosclerotic loci analyzed by high-resolution computed tomography[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2019, 276(5): 1335 – 1340.
- [30] Png LH, Pang JY, Kakandikar A, et al. Otosclerosis in a nonendemic population: Utility of CT scan and correlation with audiometry and surgical outcome[J]. *Ear Nose Throat J*, 2018, 97(6): 156 – 162.
- [31] Juliano AF, Ginat DT, Moonis G. Imaging review of the temporal bone: Part II. traumatic, postoperative, and noninflammatory non-neoplastic conditions[J]. *Radiology*, 2015, 276(3): 655 – 672.
- [32] Purohit B, Hermans R, Op De Beeck K. Imaging in otosclerosis: A pictorial review[J]. *Insights Imaging*, 2014, 5(2): 245 – 252.
- [33] Andreu-Arasa VC, Sung EK, Fujita A, et al. Otosclerosis and dysplasias of the temporal bone [J]. *Neuroimaging Clin N Am*, 2019, 29(1): 29 – 47.
- [34] Sanghan N, Chansakul T, Kozin ED, et al. Retrospective review of otic capsule contour and thickness in patients with otosclerosis and individuals with normal hearing on CT[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2018, 39(12): 2350 – 2355.
- [35] Xu Y, Yamashiro T, Moriya H, et al. Quantitative emphysema measurement on ultra-high-resolution CT scans[J]. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2019, 14: 2283 – 2290.
- [36] Takagi H, Tanaka R, Nagata K, et al. Diagnostic performance of coronary CT angiography with ultra-high-resolution CT: Comparison with invasive coronary angiography[J]. *Eur J Radiol*, 2018, 101: 30 – 37.
- [37] Hiraumi H, Obara M, Yoshioka K, et al. Detectability of minute temporal bone structures with ultra-high resolution CT[J]. *Auris Nasus Larynx*, 2019, 46(6): 830 – 835.
- [38] Yamashita K, Hiwataishi A, Togao O, et al. Ultrahigh-resolution CT scan of the temporal bone [J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2018, 275(11): 2797 – 2803.
- [39] Akazawa Y, Ganaha A, Higa T, et al. Measurement of stapes footplate thickness in otosclerosis by ultra-high-resolution computed tomography[J]. *Acta Otolaryngol*, 2020, 140(11): 899 – 903.
- [40] Maier T, Strauss G, Bauer F, et al. Distance measurement in middle ear surgery using a telemanipulator[J]. *Med Image Comput Assist Interv*, 2011, 14(Pt 1): 41 – 48.
- [41] Sennaroglu L, Unal OF, Sennaroglu G, et al. Effect of teflon piston diameter on hearing result after stapedotomy[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2001, 124(3): 279 – 281.
- [42] Scierski W, Namysłowski G, Czerwińska G, et al. [Postoperative vertigo caused by too long stapes prosthesis-radiological diagnostics][J]. *Otolaryngol Pol*, 2012, 66(5): 363 – 367.
- [43] Spandow O, Söderberg O, Bohlin L. Long-term results in otosclerotic patients operated by stapedectomy or stapedotomy[J]. *Scand Audiol*, 2000, 29(3): 186 – 190.
- [44] Gil Mun S, Scheffner E, Müller S, et al. Stapes piston insertion depth and clinical correlations[J]. *Acta Otolaryngol*, 2019, 139(10): 829 – 832.
- [45] Sudhoff H, Gehl HB, Boga E, et al. Stapes prosthesis length: one size fits all? [J]. *Audiol Neurootol*, 2019, 24(1): 1 – 7.
- [46] Bozzato A, Struffert T, Hertel V, et al. Analysis of the accuracy of high-resolution computed tomography techniques for the measurement of stapes prostheses[J]. *Eur Radiol*, 2010, 20(3): 566 – 571.
- [47] Hahn Y, Diaz R, Hartman J, et al. Assessing stapes piston position using computed tomography: a cadaveric study[J]. *Otol Neurotol*, 2009, 30(2): 223 – 230.
- [48] Warren FM, Riggs S, Wiggins RH. Computed tomographic imaging of stapes implants[J]. *Otol Neurotol*, 2008, 29(5): 586 – 592.
- [49] Khorsandi AMT, Jalali MM, Shoshi DV. Predictive factors in 995 stapes surgeries for primary otosclerosis[J]. *Laryngoscope*, 2018, 128(10): 2403 – 2407.
- [50] Neff BA, Lippy WH, Schuring AG, et al. Stapedectomy in patients with a prolapsed facial nerve[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2004, 130(5): 597 – 603.
- [51] Gristwood RE, Bedson J. Observations on bilateral symmetry of the stapedial footplate lesion and narrowing of the oval window niche in otosclerosis[J]. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2008, 117(8): 569 – 573.
- [52] Parra C, Trunet S, Granger B, et al. Imaging criteria to predict surgical difficulties during stapes surgery [J]. *Otol Neurotol*, 2017, 38(6): 815 – 821.
- [53] Ukkola-Pons E, Ayache D, Pons Y, et al. Oval window niche height: quantitative evaluation with CT before stapes surgery for otosclerosis[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2013, 34(5): 1082 – 1085.
- [54] Di Martino E, Sellhaus B, Haensel J, et al. Fallopian canal dehiscences: a survey of clinical and anatomical findings[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2005, 262(2): 120 – 126.
- [55] Nguyen Y, Grayeli AB, Belazzougui R, et al. Diode laser in otosclerosis surgery: first clinical results[J]. *Otol Neurotol*, 2008, 29(4): 441 – 446.
- [56] Small BW. Cone beam computed tomography [J]. *Gen Dent*, 2007, 55(3): 179 – 181.
- [57] Liktor B, Révész P, Csomor P, et al. Diagnostic value of cone-beam CT in histologically confirmed otosclerosis[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2014, 271(8): 2131 – 2138.
- [58] Redfors YD, Gröndahl HG, Hellgren J, et al. Otosclerosis: anatomy and pathology in the temporal bone assessed by multi-slice and cone-beam CT[J]. *Otol Neurotol*, 2012, 33(6): 922 – 927.
- [59] Debaupte M, Hermann R, Pialat JB, et al. Cone beam versus multi-detector computed tomography for detecting hearing loss[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2019, 276(2): 315 – 321.

- [60] Dahmani-Causse M, Marx M, Deguine O, et al. Morphologic examination of the temporal bone by cone beam computed tomography: comparison with multislice helical computed tomography [J]. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis*, 2011, 128(5): 230 – 235.
- [61] Hodez C, Griffaton-Taillandier C, Bensimon I. Cone-beam imaging: applications in ENT [J]. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis*, 2011, 128(2): 65 – 78.
- [62] Virk JS, Singh A, Lingam RK. The role of imaging in the diagnosis and management of otosclerosis [J]. *Otol Neurotol*, 2013, 34(7): e55 – e60.
- [63] Révész P, Liktör B, Liktör B, et al. Comparative analysis of pre-operative diagnostic values of HRCT and CBCT in patients with histologically diagnosed otosclerotic stapes footplates [J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2016, 273(1): 63 – 72.
- [64] Goh JP, Chan LL, Tan TY. MRI of cochlear otosclerosis [J]. *Br J Radiol*, 2002, 75(894): 502 – 505.
- [65] Stimmer H, Arnold W, Schwaiger M, et al. Magnetic resonance imaging and high-resolution computed tomography in the otospongiotic phase of otosclerosis [J]. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec*, 2002, 64(6): 451 – 453.
- [66] Purohit B, Op de Beeck K, Hermans R. Role of MRI as first-line modality in the detection of previously undiagnosed otosclerosis: a single tertiary institute experience [J]. *Insights Imaging*, 2020, 11(1): 71.
- [67] Igarashi M, Jerger S, O-Uchi T, et al. Fluctuating hearing loss and recurrent vertigo in otosclerosis. An audiologic and temporal bone study [J]. *Arch Otorhinolaryngol*, 1982, 236(2): 161 – 171.
- [68] Lombardo F, De Cori S, Aghakhanyan G, et al. 3D-Flair sequence at 3T in cochlear otosclerosis [J]. *Eur Radiol*, 2016, 26(10): 3744 – 3751.
- [69] Naganawa S, Kawai H, Taoka T, et al. Cochlear lymph fluid signal increase in patients with otosclerosis after intravenous administration of Gadodiamide [J]. *Magn Reson Med Sci*, 2016, 15(3): 308 – 315.
- [70] Berrettini S, Lombardo F, Bruschini L, et al. 3D fluid attenuated inversion recovery (FLAIR) magnetic resonance imaging at different stages of otosclerosis [J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2018, 275(11): 2643 – 2652.
- [71] Wang F, Yoshida T, Sugimoto S, et al. Clinical features of ears with otosclerosis and endolymphatic hydrops [J]. *Otol Neurotol*, 2019, 40(4): 441 – 445.
- [72] Sone M, Yoshida T, Sugimoto S, et al. Magnetic resonance imaging evaluation of endolymphatic hydrops and post-operative findings in cases with otosclerosis [J]. *Acta Otolaryngol*, 2017, 137(3): 242 – 245.
- [73] Berrettini S, Ravecca F, Volterrani D, et al. Imaging evaluation in otosclerosis: single photon emission computed tomography and computed tomography [J]. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2010, 119(4): 215 – 224.
- [74] Pitris C, Saunders KT, Fujimoto JG, et al. High-resolution imaging of the middle ear with optical coherence tomography: a feasibility study [J]. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 2001, 127(6): 637 – 642.
- [75] Monroy GL, Won J, Dsouza R, et al. Automated classification platform for the identification of otitis media using optical coherence tomography [J]. *NPJ Digit Med*, 2019, 2: 22.
- [76] MacDougall D, Morrison L, Morrison C, et al. Optical coherence tomography Doppler vibrometry measurement of stapes vibration in patients with stapes fixation and normal controls [J]. *Otol Neurotol*, 2019, 40(4): e349 – e355.
- [77] Kim W, Kim S, Huang S, et al. Picometer scale vibrometry in the human middle ear using a surgical microscope based optical coherence tomography and vibrometry system [J]. *Biomed Opt Express*, 2019, 10(9): 4395 – 4410.

(收稿日期:2021-12-31;网络首发:2022-03-08)

本文引用格式:梅凌云,张帅. 影像学检查在耳硬化症诊治中的应用及研究进展 [J]. *中国耳鼻咽喉颅底外科杂志*, 2022, 28(2): 1 – 7. DOI:10.11798/j.issn.1007-1520.202220001

Cite this article as: MEI Lingyun, ZHANG Shuai. Application and research progress of imaging examination in the diagnosis and treatment of otosclerosis [J]. *Chin J Otorhinolaryngol Skull Base Surg*, 2022, 28(2): 1 – 7. DOI:10.11798/j.issn.1007-1520.202220001