

## 双能 CT 在中耳及外耳道胆脂瘤诊断和精准定位中的应用价值

霍明月, 陈英敏, 贾秀川, 张淑倩, 张萌, 郑学超

**【摘要】 目的:**探讨双能 CT(DECT)在中耳及外耳道胆脂瘤诊断及精准定位中的应用价值。**方法:**选取临床初步怀疑胆脂瘤并接受术前 DECT 检查的患者 40 例(44 耳)。以术后结果为参考标准评估 DECT 对胆脂瘤的诊断效能,寻找鉴别胆脂瘤组与非胆脂瘤组差异有统计学意义的客观定量参数,采用受试者工作特征(ROC)曲线分析诊断效能最好的定量参数,评估 DECT 对胆脂瘤病变组织的定位准确性。**结果:**胆脂瘤组 24 耳,非胆脂瘤组 20 耳。DECT 诊断胆脂瘤的敏感度、特异度、阳性预测值(PPV)、阴性预测值(NPV)分别为 95.8%、80.0%、85.2%、94.1%,DECT 与手术结果的一致性 Kappa 值为 0.768。Water(Hap)浓度值为诊断胆脂瘤效能最高的参数,当 Water(Hap)浓度值取最佳截断值 1040.8 mg/cm<sup>3</sup> 时,对应的曲线下面积为 0.898,敏感度、特异度、PPV 和 NPV 分别为 91.67%、80%、84.6%和 88.9%。DECT 对胆脂瘤病变的精准定位总体准确率为 91.7%。**结论:**DECT 新技术可用于胆脂瘤定性、定量诊断和精准定位评估,有助于临床医师合理选择手术方案。

**【关键词】** 胆脂瘤;双能量 CT;体层摄影术,X 线计算机;中耳;外耳道

**【中图分类号】** R739.6; R814.42 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2023)05-0559-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.05.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



**The value of dual-energy CT in the diagnosis and localization of middle ear and external acoustic meatus cholesteatoma** HUO Ming-yue, CHEN Ying-min, JIA Xiu-chuan, et al. Department of Radiology, Hebei General Hospital, Shijiazhuang 050000, China

**【Abstract】 Objective:** To evaluate the diagnostic efficiency and localization accuracy of dual-energy CT (DECT) for cholesteatoma. **Methods:** A total of 40 patients (44 ears) with a clinical suspicion of cholesteatoma received preoperative DECT and surgery. The diagnosis of cholesteatoma was evaluated randomly and independently on DECT, and quantitative parameters were measured and analyzed between choleliatoma and non-choleliatoma groups, with surgical results as the standard. The receiver operating characteristic curves (ROCs) were used to find out the parameters with the best diagnostic performance. The localization accuracy of DECT for cholesteatoma was also evaluated. **Results:** The sensitivity, specificity, PPV and NPV of visual evaluation on DECT for cholesteatoma were 95.8%, 80.0%, 85.2% and 94.1% respectively, with a Kappa value of 0.768. The Water (Hap) concentration was the best parameter for diagnosis of cholesteatoma with an area under the curve (AUC) of 0.898. The corresponding sensitivity and specificity, PPV and NPV were 91.67%, 80%, 84.6%, and 88.9% respectively when the Water (Hap) concentration was more than 1040.82mg/cm<sup>3</sup>. The overall accuracy of DECT in evaluating cholesteatoma localization was 91.7%. **Conclusions:** DECT can diagnose cholesteatoma qualitatively and quantitatively and evaluate localization accurately, which can aid clinicians in selecting a suitable surgical plan.

**【Key words】** Cholesteatoma; Dual-energy CT; Tomography, X-ray computed; Middle ear; External auditory canal

胆脂瘤是耳鼻喉科常见的良性病变,是角化复杂鳞状上皮异常增生和角化碎片堆积引起的复杂生理反

应所致,伴或不伴周围炎症<sup>[1]</sup>。它可以原发于外耳道,也可原发于中耳鼓室,病情进展可引起颅内、外各种并发症,严重者威胁患者生命安全<sup>[2]</sup>,一经发现需手术治疗。胆脂瘤发病隐匿且早期缺乏特异性症状,易误诊和漏诊,延误治疗时机<sup>[3]</sup>。目前高分辨率 CT 常规用

作者单位:050000 石家庄,河北省人民医院医学影像科  
作者简介:霍明月(1996-),女,河北邢台人,硕士研究生,主要从事影像诊断工作。  
通讯作者:陈英敏, E-mail:hbghyixiang@126.com

于胆脂瘤术前评估,可以更好地评估病变范围,但传统单能 CT 在区分胆脂瘤与肉芽组织、疤痕、混浊积液等方面仍有很大局限性<sup>[4-6]</sup>。双能 CT(dual-energy CT, DECT)通过实现碘、水、钙、羟基磷灰石(hydroxyapatite, Hap)等混合物的分解,可用于区分相似密度组织<sup>[7,8]</sup>。Foti 等<sup>[9]</sup>首次将 DECT 应用于颞骨,结果显示 DECT 对胆脂瘤有很高的诊断效能。目前,国内外尚无利用 DECT 技术对胆脂瘤进行客观多参数分析及单独使用 DECT 对其进行精准诊断的研究,本研究旨在探讨 DECT 对中耳及外耳道胆脂瘤的诊断价值。

## 材料与方法

### 1. 研究对象

连续性搜集 2021 年 7 月—2022 年 1 月就诊于本院且临床初步怀疑胆脂瘤的患者。病例纳入标准:①术前行 DECT 检查;②接受手术治疗;③术后明确诊断为胆脂瘤病变或非胆脂瘤病变,所有胆脂瘤患者均经组织病理学检查证实;④ DECT 检查与患者手术间隔时间不超过 45 天。病例排除标准:①微小病变靠近颞骨骨皮质而无法准确勾画 ROI 的患者(2 耳);②术中所见胆脂瘤病变组织位置记录不完整或不准确的患

者(1 耳)。本项前瞻性研究已获得医院伦理委员会批准(批准编号:2022077),所有患者均签署知情同意书。

### 2. 快速千伏切换 DECT 扫描方案

所有患者术前均接受了 GE 公司宽体探测器 CT (Revolution CT, GE Healthcare)颞骨 DECT 扫描。患者扫描时取仰卧位,头先进,并保持头部固定不动,扫描方式均采用宝石光谱成像(Gemstone spectral imaging, GSI)螺旋方式。扫描参数:螺距 0.526:1,管电压 80/140 kVp 快速千伏切换,管电流以噪声指数 15%上下自动调制,调制范围为 100~300 mA,自适应统计迭代重构 50%,重建层厚 0.625 mm,层间距 0.31 mm,扫描范围确保覆盖患者整个颞骨区域。将扫描得到的融合图像自动传输到工作站 AW4.7 (Version 4.7;GE 医疗)进行图像后处理。

### 3. 图像后处理及图像分析

进入图像后处理工作站中的“GSI Viewer”应用软件,根据需要手动生成 70 keV 单能量图像、Water (Hap)基物质图像、Hap(Water)基物质图像、有效原子序数图像,用于所有患者中耳及外耳道病变主观评价和客观定量测定。

主观定性评价由两位有 5 年以上经验的五官放射

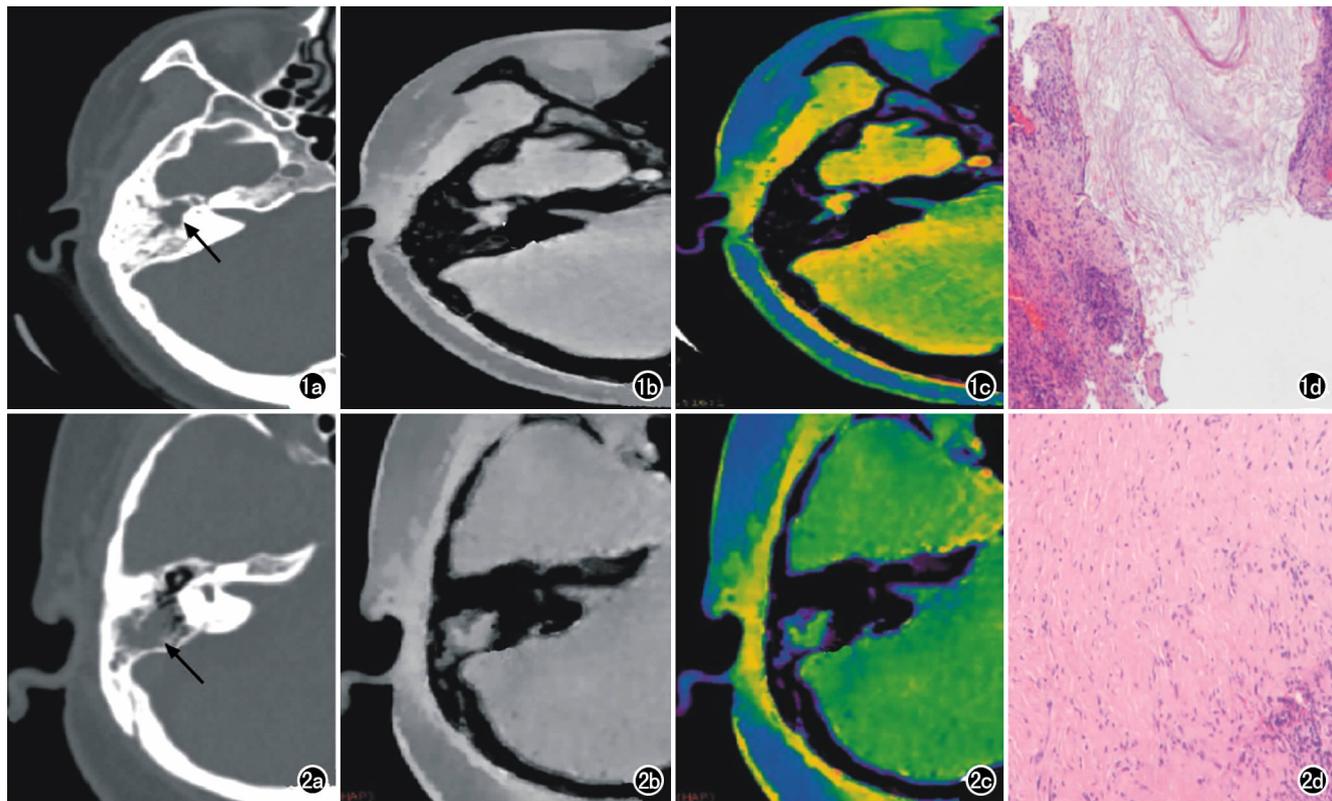


图 1 胆脂瘤患者,女,34 岁。a)术前 70keV 单能量 CT 示右侧中耳鼓室及鼓室内软组织密度影(箭);b) Water(Hap)基物质图像灰阶图;c) Water(Hap)基物质图像伪彩图显示病变区域被赋予橘色;d) 病理诊断为胆脂瘤。图 2 胆脂瘤患者,女,54 岁。a)术前 70keV 单能量 CT 示右侧鼓室及乳突内存在软组织密度影(箭);b) Water(Hap)基物质图像灰阶图;c) Water(Hap)基物质图像伪彩图显示病变区域被赋予绿色;d) 病理诊断为慢性炎症伴纤维组织增生。

医师独立、随机、盲法评估所有患者的 Water (Hap) 基物质图像并做出诊断, Water (Hap) 伪彩图上存在红色或者橘红色病变组织被认为存在胆脂瘤(图 1、2)。两位医师有异议时通过讨论得出最终结果。以术后病理结果为参考标准, 评估 DECT 对胆脂瘤的诊断效能, DECT 和手术诊断结果均使用二分类法表示(0=非胆脂瘤病变, 1=胆脂瘤病变)。

客观定量参数测量由以上两位医师首先在 Water (Hap) 基物质图像上手动勾画感兴趣区(region of interest, ROI), 大小  $1\sim 5\text{ mm}^2$ , 勾画 ROI 时尽可能避开相邻骨皮质, 并复制粘贴到上述 70 keV 单能量图像、Hap(Water) 基物质图像、有效原子序数图像数据集的同一位置, 分别测量并记录所画 ROI 的 70 keV 单能量图像 CT 值(HU)、Water (Hap) 浓度值( $\text{mg}/\text{cm}^3$ )、Hap(Water) 浓度值( $\text{mg}/\text{cm}^3$ ) 和有效原子序数值(Effective Z, Eff-Z)(图 3)。两位医师测量结果取平均值后用于统计学分析。

主观定位评估由以上两位医师协商后在 Water (Hap) 基物质图像上评估胆脂瘤组(24 耳) 病变分布部位(分为与手术相关的 7 个解剖位置: 外耳道、鼓室口、乳突、上鼓室、中鼓室、下鼓室、后鼓室), 分布位置参考郭芳等<sup>[10]</sup> 的鼓室分割情况, 在其基础上增加了外耳道。标准常规的薄层颞骨高分辨率 CT 图像可以同时在一个独立的窗口专门显示, 来提供骨质解剖学细节。以术中所见胆脂瘤的分布为参考标准, 计算 DECT 对胆脂瘤组织精准定位的准确率。

#### 4 统计学分析

采用 SPSS 26.0 和 Medcalc 18.0 软件进行统计学分析。采用 Kappa 值计算 DECT 诊断结果与手术结果的一致性, Kappa 值在 0.75~1.00 范围内为一致性好, Kappa 值在 0.40~0.74 范围内为一致性适中, Kappa 值小于 0.40 为一致性较差。满足正态分布的定量数据以平均值 $\pm$ 标准差表示, 组间比较采用 *t* 检验; 不满足正态分布的定量数据以中位数(四分位间距)表示, 组间比较采用 Mann-Whitney *U* 检验。采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC) 曲线分析鉴别两组间差异有统计学意义的定量参数, 计算鉴别两组有统计学意义参数的最佳临界值并进行效能评价。

两位放射医师间的一致性分析均采用组内相关系数(Intraclass correlation coefficient, ICC)。以  $P<0.05$  为差异有统计学意义。

## 结果

### 1. 一般资料

依据纳排标准最终纳入 40 例患者(共 44 耳), 其中男 24 例, 女 16 例, 年龄中位数(四分位间距)为 38.5 (14.5, 57.0) 岁; 左侧患病 15 例, 右侧患病 21 例, 双侧患病 4 例。

以手术结果为金标准, 将 44 耳分为胆脂瘤组和非胆脂瘤组, 其中胆脂瘤组 24 耳(24 例患者), 患者年龄中位数为 33.0 (14.5, 51.3) 岁, DECT 与手术间隔时间中位数为 2.42 (1.86, 4.83) 天; 非胆脂瘤组 20 耳(16 例患者), 患者年龄中位数为 38.0 (4.0, 58.0) 岁, DECT 与手术间隔时间中位数为 1.93 (1.75, 6.03) 天。其中非胆脂瘤组 20 耳分别包括慢性中耳炎 16 耳、中耳慢性肉芽肿性炎伴凝固型坏死 1 耳、外耳道良性囊肿伴纤维组织增生和慢性炎症 2 耳、外耳道皮内痔伴慢性炎症 1 耳。

### 2. 主观定性评价

以术后病理结果为金标准, DECT 对胆脂瘤的诊断符合率为 88.6%, 敏感度为 95.8%, 特异度为 80.0%, 阳性预测值(positive predictive value, PPV) 为 85.2%, 阴性预测值(negative predictive value, NPV) 为 94.1%。DECT 与病理结果之间的一致性

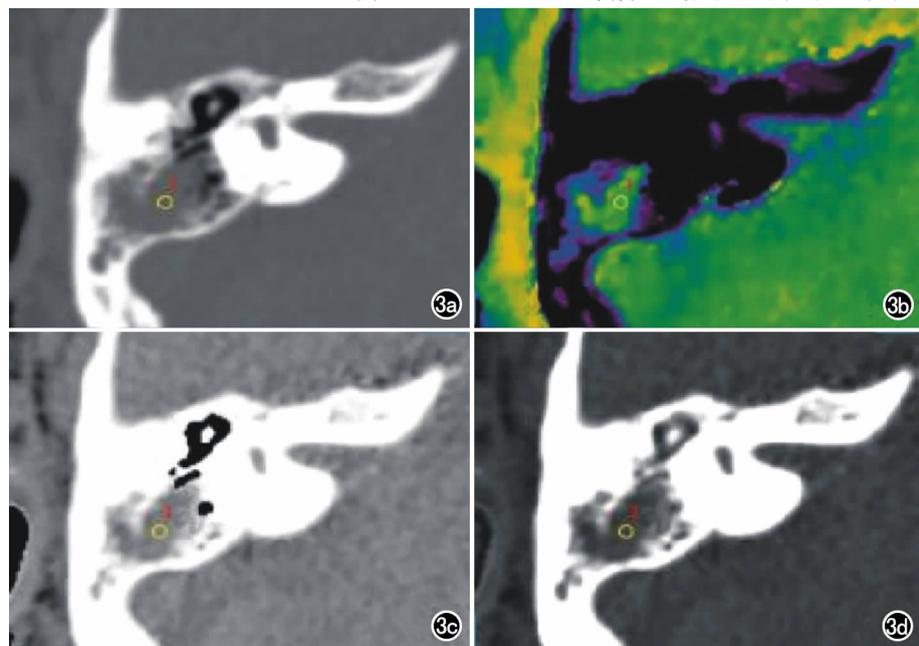


图 3 DECT 图像定量参数同一位置的 ROI 测量。a) 70keV 单能量图像上测得 CT 值; b) Water (Hap) 基物质图像伪彩图上测得 Water (Hap) 浓度值; c) 原子序数图像测得 Eff-Z 值; d) Hap (Water) 基物质图像测得 Hap (Water) 浓度值。

Kappa 值为 0.768(表 1)。

表 1 DECT 诊断结果与病理结果 (例)

DECT 诊断结果	病理结果		总计
	阳性	阴性	
阳性	23	4	27
阴性	1	16	17
总计	24	20	44

### 3. 胆脂瘤组与非胆脂瘤组各客观参数比较

胆脂瘤组与非胆脂瘤组测得的 CT 值(HU)差异无统计学意义( $P > 0.05$ );胆脂瘤组测得的 Water(Hap)浓度值显著高于非胆脂瘤组,差异有统计学意义( $P < 0.05$ );胆脂瘤组测得的 Hap(Water)浓度值和 Eff-Z 值显著低于非胆脂瘤组,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ,表 2)。

### 4. 定量参数对胆脂瘤组与非胆脂瘤组的鉴别诊断效能

采用 ROC 曲线进一步分析上述 3 个两组间差异有统计学意义的定量参数的诊断效能,分析结果显示,Water(Hap)浓度值用于诊断胆脂瘤的曲线下面积(area under area, AUC)最大,是诊断胆脂瘤效能最好的定量参数(图 4、表 3)。

### 5. 精准定位分析

Water(Hap)基物质图像伪彩图对胆脂瘤精准定位的总体准确度为 91.1%,敏感度为 94.50%,特异度为 89.4%,PPV 为 81.3%,NPV 为 97.1%,与术中所见结果之间的一致性 Kappa 值为 0.805。对于每个解剖学位置来说,诊断胆脂瘤准确率范围为 83.3%~100%,对于每例患者来说,诊断准确率范围为 71.4%~100%(表 4)。

### 6. 两位医师间主观定性诊断和客观参数测量的一致性 ICC 分析

两位医师的主观定性评估和客观参数测量结果都显示出非常好的一致性(表 5)。

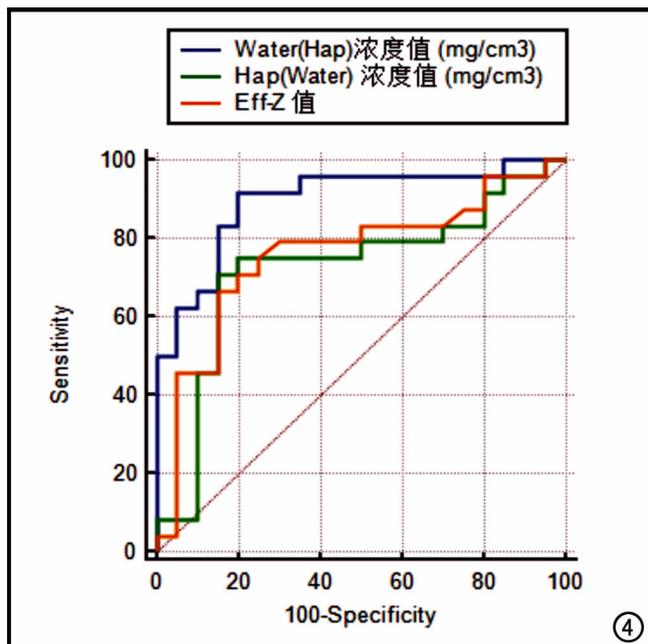


图 4 ROC 曲线分析结果显示,Water(Hap)浓度值、Hap(Water)浓度值及 Eff-Z 值诊断胆脂瘤的 AUC 分别为 0.898、0.725 及 0.760。

## 讨论

单源 DECT 的物质分解技术是通过任意两种或多种物质组成基物质对,形成分别表达其中一种物质的图像,借此来表达组织间差异的方法<sup>[11]</sup>。考虑到颞骨解剖结构细小而复杂,根据实际临床需要和本研究目的,我们最终选择 Water 和 Hap 作为基物质对以达到区分相似软组织密度物质的目的。根据胆脂瘤的发病机制和增殖特点,目前普遍认为中耳胆脂瘤发生侵袭性行为的原因是鳞状上皮细胞的迅速增殖,过程中会分泌大量与炎症反应相关的细胞因子,如前列腺素、肿瘤坏死因子等<sup>[12,13]</sup>。一方面,胆脂瘤组织较炎性肉芽组织、纤维、疤痕或分泌性黏液等非胆脂瘤组织具有大量密集排列的基质细胞,可能增加了软组织团块的

表 2 胆脂瘤组与非胆脂瘤组的 DECT 多客观参数比较

指标	胆脂瘤组	非胆脂瘤组	差值和 (95%置信区间)	t/Z 值	P 值
70keV 单能量 CT 值(HU)	24.79±48.94	25.45±17.76	0.66(-21.29~22.62)	0.062	0.951
Water(Hap)浓度值(mg/cm <sup>3</sup> )	1066.83±20.14	1029.70±22.32	-37.13(-50.06~-24.20)	-5.796	0.000*
Hap(Water)浓度值(mg/cm <sup>3</sup> )	-23.02(-46.18,-3.18)	-2.76(-7.87,6.73)	21.5(6.29~38.82)	-2.546	0.011*
Eff-Z 值	6.9(6.27,7.35)	7.49(7.34,7.83)	0.66(0.25~1.10)	-2.947	0.003*

注:70 keV 单能量 CT 值和 Water(Hap)浓度值满足正态分布用平均值±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,Hap(Water)浓度值和 Eff-Z 值不满足正态分布用中位数(四分位间距)M(IQR)表示。\*  $P < 0.05$  表示差异有统计学意义。

表 3 ROC 曲线分析结果

指标	AUC	截断值	敏感度	特异度	PPV	NPV
Water(Hap)浓度值(mg/cm <sup>3</sup> )	0.898	1040.82	91.67%	80%	84.6%	88.9%
Hap(Water)浓度值(mg/cm <sup>3</sup> )	0.725	-10.47	70.83%	85%	85%	70.8%
Eff-Z 值	0.760	7.14	66.67%	85%	84.2%	68.0%

表4 DECT对胆脂瘤组患者的精准定位分析

例数	外耳道	鼓窦口	乳突腔	上鼓室	中鼓室	下鼓室	后鼓室	准确度
1		+/-		+/+	+/+		+/+	0.86
2	+/+							1.00
3				+/+	+/+			1.00
4	+/+							1.00
5	+/+							1.00
6		+/+	+/+	+/+	+/-			0.86
7	+/+				+/-		+/-	0.71
8			+/-	-/+				0.71
9				+/+			+/-	0.86
10	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/-	+/+	0.86
11				+/+	+/+			1.00
12	+/+	+/-		+/+	+/-			0.71
13		+/+		+/+			+/+	1.00
14		+/-		+/+				0.86
15	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+		+/+	1.00
16	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+		+/+	1.00
17				+/+	+/+			1.00
18	+/+	-/+		+/+			+/-	0.71
19							+/+	1.00
20				-/+				0.86
21		+/+		+/+				1
22		+/+		+/+				1
23		+/+	+/+	+/+			+/-	0.86
24				+/+				1
准确性	1.00	0.83	0.96	0.92	0.86	0.96	0.83	

注：“+”表示存在胆脂瘤组织，“-”表示无胆脂瘤病变组织；“/”前为DECT诊断结果，“/”后为术中所见结果，空格为DECT和术中均未见胆脂瘤病变。

表5 DECT诊断结果与客观参数测量的一致性ICC分析

指标	医师1	医师2	ICC值(95%CI)	共识结果
DECT主观诊断[n(%)]*	30(68.2%)	26(59.1%)	0.820(0.693~0.897)	26(59.1%)
70keV单能量CT值(HU)	25.88±37.45	24.30±38.10	0.991(0.983~0.995)	25.09±37.69
Water(Hap)浓度值(mg/cm <sup>3</sup> )	1049.45±28.47	1050.45±27.91	0.980(0.964~0.989)	1049.95±28.05
Hap(Water)浓度值(mg/cm <sup>3</sup> )	-15.02±27.20	-16.7±27.23	0.986(0.975~0.992)	-15.86±27.12
Eff-Z值	7.11±0.76	7.07±0.79	0.979(0.962~0.988)	7.09±0.77

注：\*表示阳性例数(百分比)

总体水浓度；另一方面，持续存在的炎症刺激和过度活跃的免疫反应导致细胞间质性水肿而引起测量范围内水浓度较高。在伪彩图上组织颜色越接近于红色或橘黄色，表示该组织所含相对水浓度越高，由此我们得到了DECT对胆脂瘤具有较好的诊断效能，并且与手术结果的一致性较好(Kappa值=0.768)。

与Foti等的研究结果不同，本研究结果显示CT值对诊断胆脂瘤无价值。以往的研究表明，宝石光谱成像所产生的40~140 keV单能量图像可以降低图像噪声和光束硬化伪影，从而获得比传统CT更精确的CT值<sup>[14,15]</sup>，而与120 kVp混合CT图像相比，70 keV单能量图像可以产生更低的图像噪声和更高的对比度噪声比，并有潜力取代120 kVp CT而成为标准CT成像方式<sup>[16,17]</sup>，所以我们选择测量的是70 keV单能量图像的CT值。非常复杂的胆脂瘤成分组成、研究对象的选择以及ROI的测量误差都有可能是导致本研究与Foti等的结论不同的原因。

通过分析物质的X射线衰减理论，已知物质的X

射线衰减曲线在很大程度上取决于物质的有效原子序数的大小，有效原子序数反映物质的真实化学组成。笔者推测胆脂瘤组Eff-Z值较低的原因是胆脂瘤组织中可能存在脂质成分，胆脂瘤组的Eff-Z值(6.92)更接近纯脂肪的有效原子序数值(6.27)。胆脂瘤组织成分非常复杂，导致原子序数值有差异的原因还需要进一步的研究和证实。

双能CT新技术的出现有望弥补传统单能CT和MRI的缺点，成为中耳胆脂瘤患者术前精准定位评估的新方法。胆脂瘤病变的位置和范围决定了临床医生选择何种手术方法<sup>[18]</sup>，近年来随着耳内窥镜手术技术的兴起，中耳胆脂瘤微创治疗的理念也变得流行起来<sup>[19]</sup>。DWI虽然诊断胆脂瘤的准确度较高，但因缺乏明确的颞骨解剖细节而术前无法准确评估病变侵犯范围。基于Water(Hap)基物质图像对胆脂瘤有很高的诊断效能，笔者进一步将胆脂瘤组患者细分为7个解剖学位置，从而评估胆脂瘤组患者的胆脂瘤分布情况，结果显示DECT与手术结果具有较好的一致性(Kap-

pa 值=0.805)和较高的总体准确度(91.1%)。

本研究存在以下局限性:首先,胆脂瘤组样本量太小而无法将胆脂瘤组细分为初发和二次手术亚组、单纯外耳道胆脂瘤和中耳胆脂瘤亚组。其次,由于 70 keV 单能量图像质量最好,我们仅研究了 70 keV 单能量图像的 CT 值,并得到组间差异无统计学意义的结果;但 keV 越低,X 射线衰减量越高,相似组织的差异越能放大。未来在不影响图像质量的前提下我们将尝试评估 40~70 keV 单能量图像 CT 值或能谱曲线对胆脂瘤的诊断效能。最后,本组有 1 例患者的 DECT 检查与手术间隔时间较长(41.29 天),由于胆脂瘤生长速度缓慢<sup>[20]</sup>,这个间隔对本研究结果的影响较小。

综上所述,DECT 的 Water(Hap)基物质图像可用于诊断胆脂瘤;Water(Hap)浓度值、Hap(Water)浓度值和 Eff-Z 值等 3 个客观定量参数有助于提示胆脂瘤的诊断,其中 Water(Hap)浓度值对诊断和鉴别胆脂瘤的效能最高。另外 DECT 对胆脂瘤精准定位具有较高的准确度,可用于临床微创手术术前单独、准确地评估胆脂瘤病变组织存在的解剖学位置,从而指导临床合理选择手术方式。

#### 参考文献:

- [1] Yung M, Tono T, Olszewska E, et al. EAONO/JOS Joint Consensus Statements on the definitions, classification and staging of middle ear cholesteatoma[J]. *J Int Adv Otol*, 2017, 13(1):1-8.
- [2] Prasad SC, Shin SH, Russo A, et al. Current trends in the management of the complications of chronic otitis media with cholesteatoma[J]. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg*, 2013, 21(5):446-454.
- [3] Lim HW, Yoon TH, Kang WS. Congenital cholesteatoma: clinical features and growth patterns[J]. *Am J Otolaryngol*, 2012, 33(5):538-542.
- [4] Locketz GD, Li PM, Fischbein NJ, et al. Fusion of computed tomography and PROPELLER diffusion-weighted magnetic resonance imaging for the detection and localization of middle ear cholesteatoma[J]. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*, 2016, 142(10):947-953.
- [5] Fukuda A, Morita S, Harada T, et al. Value of T<sub>1</sub>-weighted magnetic resonance imaging in cholesteatoma detection[J]. *Otol Neurotol*, 2017, 38(10):1440-1444.
- [6] Akkari M, Gabrillargues J, Saroul N, et al. Contribution of magnetic resonance imaging to the diagnosis of middle ear cholesteatoma; analysis of a series of 97 cases[J]. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis*, 2014, 131(3):153-158.
- [7] Rizzo S, Radice D, Femia M, et al. Metastatic and non-metastatic lymph nodes: quantification and different distribution of iodine uptake assessed by dual-energy CT[J]. *Eur Radiol*, 2018, 28(2):760-769.
- [8] Wu Q, Shi D, Cheng T, et al. Improved display of cervical intervertebral discs on water (iodine) images: incidental findings from single-source dual-energy CT angiography of head and neck arteries[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(1):153-160.
- [9] Foti G, Beltramello A, Minerva G, et al. Identification of residual-recurrent cholesteatoma in operated ears: diagnostic accuracy of dual-energy CT and MRI[J]. *Radiol Med*, 2019, 124(6):478-486.
- [10] 郭芳, 张德军, 傅则名, 等. 磁共振弥散加权成像在中耳胆脂瘤精准诊断中的应用价值[J]. *中华耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2020, 55(11):1037-1042.
- [11] 王学东, 刘爱莲, 田士峰, 等. 单源双能 CT 能谱分析定量参数预测胃间质瘤 Ki-67 表达的可行性研究[J]. *放射学实践*, 2020, 35(7):893-899.
- [12] Wiatr A, Strek P, Wiatr M. Patterns of bone damage in patients with chronic middle ear inflammation[J]. *Ear Nose Throat J*, 2021, 100(10):438-443.
- [13] Zou J, Isomaki A, Hirvonen T, et al. Label-free visualization of cholesteatoma in the mastoid and tympanic membrane using CARS microscopy[J]. *J Otol*, 2016, 11(3):127-133.
- [14] Lin XZ, Miao F, Li JY, et al. High-definition CT Gemstone spectral imaging of the brain: initial results of selecting optimal monochromatic image for beam-hardening artifacts and image noise reduction[J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2011, 35(2):294-297.
- [15] Matsuda I, Akahane M, Sato J, et al. Precision of the measurement of CT numbers: comparison of dual-energy CT spectral imaging with fast kVp switching and conventional CT with phantoms[J]. *Jpn J Radiol*, 2012, 30(1):34-39.
- [16] Matsumoto K, Jinzaki M, Tanami Y, et al. Virtual monochromatic spectral imaging with fast kilovoltage switching: improved image quality as compared with that obtained with conventional 120kVp CT[J]. *Radiology*, 2011, 259(1):257-262.
- [17] 徐军, 张又新, 吴红英, 等. 宝石能谱 CT 双低检查技术在颅脑 CTA 中的应用研究[J]. *放射学实践*, 2022, 37(3):297-301.
- [18] Benson JC, Carlson ML, Yin L, et al. Cholesteatoma localization using fused diffusion-weighted images and thin-slice T<sub>2</sub> weighted images[J]. *Laryngoscope*, 2021, 131(5):1662-1667.
- [19] Han SY, Lee DY, Chung J, et al. Comparison of endoscopic and microscopic ear surgery in pediatric patients: A meta-analysis[J]. *Laryngoscope*, 2019, 129(6):1444-1452.
- [20] De Foer B, Vercruyse JP, Bernaerts A, et al. Middle ear cholesteatoma: non-echo-planar diffusion-weighted MR imaging versus delayed gadolinium-enhanced T<sub>1</sub>-weighted MR imaging—value in detection[J]. *Radiology*, 2010, 255(3):866-872.

(收稿日期:2022-04-02 修回日期:2022-06-29)