

高分辨率 DWI 表观扩散系数直方图鉴别腮腺常见肿瘤

宋承汝,程敬亮,张勇,张赞霞,吕青青,许珂

【摘要】 目的:探讨基于 MRI 高分辨率 DWI 表观扩散系数(ADC)的直方图分析对腮腺常见三类肿瘤(多形性腺瘤、Warthin 瘤、腮腺恶性肿瘤)的鉴别诊断价值。方法:回顾性分析本院行 MR 检查并经病理证实的 69 例腮腺常见肿瘤,其中多形性腺瘤 36 例,Warthin 瘤 14 例,腮腺恶性肿瘤 19 例。利用 Mazda 软件于肿瘤最大层面 ADC 图像上勾画瘤体兴趣区,进行直方图分析并提取出 12 个参数(面积、最小值、最大值、均值、变异度、偏度、峰度、第 1 百分位数、第 10 百分位数、第 50 百分位数、第 90 百分位数、第 99 百分位数)。对三组肿瘤的各直方图参数进行统计学分析,找出具有统计学差异的参数特征,并利用 ROC 曲线分析各参数的鉴别诊断效能。结果:通过直方图分析得到的 12 个参数中,有 9 个参数在三组间的差异具有统计学意义(P 均 <0.05)。在多形性腺瘤与 Warthin 瘤两组间,有 8 个参数的差异均具有统计学意义(P 均 <0.05),其中第 10 百分位数和均值诊断效能较高,曲线下面积(AUC)分别为 0.911、0.909。在多形性腺瘤与恶性肿瘤两组间,亦有 8 个参数差异具有统计学意义(P 均 <0.05),其中第 10 百分位数和第 50 百分位数诊断效能较高,AUC 分别为 0.841、0.832。但在 Warthin 瘤与恶性肿瘤两组间,仅均值差异具有统计学意义($P<0.05$)。结论:基于 ADC 的直方图分析有助于腮腺常见肿瘤的鉴别诊断,可提供更多量化信息特征。

【关键词】 磁共振成像; 扩散加权成像; 表观扩散系数; 腮腺肿瘤; 直方图分析

【中图分类号】 R445.2; R739.87 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2019)07-0749-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.07.007

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application of high resolution DWI apparent diffusion coefficient histogram analysis in the differentiation diagnosis of common parotid gland tumors SONG Cheng-nu, CHENG Jing-liang, ZHANG Yong, et al. Department of Magnetic Resonance, the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China

【Abstract】 Objective: The purpose of this study was to evaluate whether histogram-based analysis of MRI high resolution diffusion weighted imaging apparent diffusion coefficient (ADC) could help in the differentiation of common parotid gland tumors (i. e., pleomorphic adenoma, Warthin tumor, malignant parotid gland tumor). **Methods:** The MR images of 36 patients with a biopsy- or surgery-proven pleomorphic adenomas, 14 with Warthin tumors and 19 with malignant parotid gland tumors were retrospectively analyzed. Histogram-based analysis was performed with the software MaZda (version 4.6), with ROI measures of ADC maps. Parameters such as area, MinNorm, MaxNorm, mean, variance, skewness, kurtosis, Perc. 01%, Perc. 10%, Perc. 50%, Perc. 90%, Perc. 99% derived from histogram were calculated. Statistical analysis of the three groups were performed to find out the statistical significance of each histogram parameter. The differential efficiency of each parameter were determined using a receiver operating characteristic curve (ROC) analysis. **Results:** Nine out of 12 parameters of three groups were statistically significant ($P<0.05$). Between the pleomorphic adenomas and Warthin tumors, 8 parameters (MinNorm, MaxNorm, mean, skewness, Perc. 10%, Perc. 50%, Perc. 90%, Perc. 99%) were of statistical significance. Perc. 10% and mean revealed high diagnostic efficiency with the areas under the ROC curve (AUC) of 0.911, 0.909, respectively. Also between the pleomorphic adenomas and malignant parotid gland tumors, 8 parameters were of statistical significance. Perc. 10% and Perc. 50% revealed high diagnostic efficiency with AUC of 0.841, 0.832, respectively.

作者单位:450000 郑州,郑州大学第一附属医院磁共振科

作者简介:宋承汝(1989-),女,河南郑州人,硕士,主治医师,主要从事磁共振诊断工作。

通信作者:程敬亮, E-mail: cjr. chjl@vip. 163. com

While as between the Warthin tumors and malignant parotid gland tumors, only one parameter (mean) was statistically significant. **Conclusion:** Histogram-based analysis of ADC maps are effective in the differentiations diagnosis of common parotid gland tumors.

【Keywords】 Magnetic resonance imaging; Diffusion weighted imaging; Apparent diffusion coefficient; Parotid gland tumors; Histogram analysis

腮腺肿瘤的发生率占所有涎腺肿瘤的80%左右^[1],不同病理类型腮腺肿瘤的手术方式、预后、复发率均不尽相同,因此提高术前诊断的符合率具有重要的临床意义。但是,部分腮腺良恶性肿瘤的影像学特征有所重叠,且细针穿刺活检术常因取检组织过少等原因导致诊断不明,因而腮腺肿瘤的鉴别诊断仍存在一定的困难。近年来,国内外研究^[1-2]发现DWI对腮腺肿瘤的诊断效能显著,但以往的研究通常仅限于平均ADC值的测量,未能体现肿瘤内部的异质性。本研究通过对69例腮腺常见肿瘤的ADC图像进行直方图分析并评估各参数的鉴别诊断效能,旨在提供一种新的鉴别诊断思路和具有客观性及可重复性的量化指标。

材料与方法

1. 一般资料

回顾性分析2013年11月—2018年2月初诊为腮腺肿瘤的患者病例资料。根据常见病理类型将腮腺肿瘤分为三组:多形性腺瘤、Warthin瘤、恶性肿瘤。纳入标准:①治疗前行MRI扫描,临床及影像资料完整;②经手术或穿刺活检病理及免疫组化确诊为上述病理类型;③DWI及ADC图伪影较小、显示清晰。排除标准:①DWI及ADC图伪影较大,病变显示不清;②经两位放射科医师观察后确定为全囊性病变。根据上述标准共纳入69例腮腺肿瘤,其中多形性腺瘤36例,Warthin瘤14例,恶性肿瘤19例(包括粘液表皮样癌6例、腺样囊性癌3例、鳞癌3例、多形性腺瘤癌变2例、淋巴瘤2例、腺泡细胞癌2例、上皮肌上皮癌1例)。多形性腺瘤组中,男14例,女22例,年龄16~80岁,平均(36.7±12.7)岁。Warthin瘤组中,男13例,女1例,年龄41~72岁,平均(60.2±7.4)岁。恶性肿瘤组中,男13例,女6例,年龄18~83岁,平均(49.5±19.3)岁。

2. 仪器与方法

所有患者均采用Siemens Skyra 3.0T MR扫描仪,20通道头颈联合线圈,患者头先进取仰卧位。扫描序列及参数:横轴面自旋回波T₁WI(TR 250 ms, TE 2.5 ms),横轴面TSE T₂WI(TR 4000 ms, TE 83 ms),横轴面压脂T₂WI(TR 4571 ms, TE 82 ms),矩阵224×320,视野230 mm×230 mm,层厚4 mm,层

间距0.4 mm。冠状面压脂T₂WI与横轴面压脂T₂WI扫描参数相同。Resolve-DWI: b = 0, 1000 s/mm²,扫描参数TR 3300 ms, TE 54 ms,矩阵160×160,视野240 mm×240 mm,层厚4.0 mm,层间距1.2 mm,分段读出次数5,扫描后自动重建出ADC图。

3. 图像处理与分析

自PACS工作站导出所有病例的MR图像,存储为BMP格式。挑选出各个病例肿瘤最大层面的横轴面ADC图像,调整窗宽及窗位,使所有ADC图像在窗宽及窗位上保持一致性。通过MaZda软件4.6版本(罗兹工业大学,波兰,http://www.eletel.p.lodz.pl/mazda/)分析所选取的ADC图像。在纹理特征提取前,所有图像均在 $[\mu - 3\delta, \mu + 3\delta]$ (μ 和 δ 分别是平均灰度值和标准差)范围标准化其灰阶水平,以减小对比度和亮度变化的影响。沿病变边缘手动勾画兴趣区(regions of interest, ROI),以红色填充肿瘤区域,直方图由软件自动生成(图1~3)。直方图横坐标代表ROI内不同灰度值,纵坐标代表各灰度值出现的频率。相应的12个直方图参数亦由软件自动计算得出,包括:面积(area)、最小值(min norm)、最大值(max norm)、均值(mean)、变异度(variance)、偏度(skewness)、峰度(kurtosis)、第1百分位数(Perc. 01%)、第10百分位数(Perc. 10%)、第50百分位数(Perc. 50%)、第90百分位数(Perc. 90%)、第99百分位数(Perc. 99%)。ROI选取时共两位放射科医师在场,进行共同商讨后,由其中一名医师进行所有样本的ROI勾画,另一名医师进行全程监管协商,并同时参照MRI其他扫描序列确定瘤体边缘。

4. 统计学分析

采用SPSS 21.0进行统计学分析。首先对数据进行正态性检验和方差齐性检验,符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,不符合正态分布者以中位数±四分位间距表示。若数据满足正态分布及方差齐性,多组间比较采用单因素方差分析(ANOVA),组间两两比较进行LSD-*t*检验;若数据不满足正态分布或不具有方差齐性,多组间比较采用Kruskal-Wallis检验,组间两两比较进行Mann-Whitney U检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。采用ROC曲线及Youden指数评价各直方图参数的诊断效能。

结果

1. 直方图参数分析

对直方图分析所得的12个参数进行正态性检验和方差齐性检验,第10百分位数、第99百分位数、峰度的数据满足正态分布和方差齐性,选用单因素方差分析(ANOVA),组间两两比较选用LSD-*t*检验。其余参数的数据不满足正态分布和/或方差齐性,选用Kruskal-Wallis检验,组间两两比较选用Mann-Whitney检验。

结果显示:最小值、最大值、均值、变异度、偏度、第10百分位数、第50百分位数、第90百分位数、第99百分位数这9个参数在三组间的差异具有统计学意义(P 均 <0.05),面积、峰度、第1百分位数在三组间的差异无统计学意义(P 均 >0.05)。其中在异形性腺瘤与Warthin瘤两组间、异形性腺瘤与恶性肿瘤两组间,最小值、最大值、均值、偏度、第10百分位数、第50百分位数、第90百分位数、第99百分位数共8个参数的差异均具有统计学意义(P 均 <0.05)。但在Warthin瘤与恶性肿瘤两组间,仅均值的差异具有统计学意义($P<0.05$)。三组间各直方图参数统计结果见表1。

2. 直方图参数的ROC曲线分析

采用ROC曲线及Youden指数分别评价上述有统计学意义的8个参数在异形性腺瘤与Warthin瘤组间、异形性腺瘤与恶性肿瘤组间的鉴别诊断效能。其曲线下面积(AUC)、最佳阈值、敏感度、特异度、Youden指数分别见表2、表3;ROC曲线图见图4~7。

对于异形性腺瘤与Warthin瘤组,第10百分位数、均值、第50百分位数具有较高的鉴别诊断效能,其AUC分别为0.911、0.909、0.906,Youden指数分别为0.790、0.818、0.762。8个参数联合鉴别诊断的AUC为0.929,大于各单一参数的鉴别诊断效能。而联合均值、第10百分位数、第50百分位数进行鉴别诊断时,其AUC为0.911。

对于异形性腺瘤与恶性肿瘤组,第10百分位数、第50百分位数、均值具有较高的鉴别诊断效能,其

AUC分别为0.841、0.832、0.819,Youden指数分别为0.592、0.617、0.512。8个参数联合鉴别诊断的AUC为0.904,大于各单一参数的鉴别诊断效能。而联合均值、第10百分位数、第50百分位数进行鉴别诊断时,其AUC为0.851。

表2 各直方图参数对异形性腺瘤与Warthin瘤的鉴别效能

参数	AUC	最佳阈值	敏感度(%)	特异度(%)	P值	Youden指数
最小值	0.811	51.50	75.0	78.6	0.001	0.536
最大值	0.852	221.50	72.2	92.9	0.002	0.651
均值	0.909	128.11	88.9	92.9	0.000	0.818
偏度	0.847	-0.25	85.7	69.4	0.000	0.551
第10百分位数	0.911	104.50	86.1	92.9	0.000	0.790
第50百分位数	0.906	128.00	83.3	92.9	0.000	0.762
第90百分位数	0.876	163.00	86.1	85.7	0.000	0.718
第99百分位数	0.768	190.50	80.6	71.4	0.004	0.520

表3 各直方图参数对异形性腺瘤与恶性肿瘤的鉴别效能

参数	AUC	最佳阈值	敏感度(%)	特异度(%)	P值	Youden指数
最小值	0.694	61.00	61.1	68.4	0.019	0.295
最大值	0.761	209.00	77.8	73.4	0.002	0.512
均值	0.819	137.54	77.8	73.4	0.000	0.512
偏度	0.762	-0.18	68.4	72.2	0.002	0.406
第10百分位数	0.841	110.00	75.0	84.2	0.000	0.592
第50百分位数	0.832	146.50	72.2	89.5	0.000	0.617
第90百分位数	0.766	164.50	86.1	68.4	0.001	0.545
第99百分位数	0.711	210.50	72.2	78.9	0.011	0.511

讨论

涎腺肿瘤约占头颈部肿瘤的2%~5%^[3],其中约80%发生于腮腺,其病理学类型复杂多样,大多数为良性^[1]。腮腺良性肿瘤最常见的病理类型为异形性腺瘤和Warthin瘤。恶性肿瘤中较常见的为粘液表皮样癌、腺样囊性癌、腺泡细胞癌等。不同病理类型腮腺肿瘤的手术方式、预后、复发率均不尽相同,提高术前诊断的符合率具有重要的临床意义。异形性腺瘤和Warthin瘤虽同为良性,但异形性腺瘤的术后局部复发率可高达85%,Warthin瘤仅约2%^[2]。并且由于Warthin瘤的恶变风险(低于1%)明显低于异形性腺瘤,所以术前确诊的Warthin瘤有时可不必手术^[4-5]。鉴于两者的临床特征大不相同,且有文献报道Warthin瘤的ADC值低于其余良性病变及部分恶性病变,

表1 异形性腺瘤组、Warthin瘤组和恶性肿瘤组三组间直方图参数统计分析

组别	异形性腺瘤	Warthin瘤	恶性肿瘤	χ^2 值	P值
最小值	70.00±34 ^b	43.50±13.084 [*]	50.89±21.160 ^{*a}	14.285	0.001
最大值	240.50±62 ^b	187.14±47.973 [*]	193.00±50 ^a	19.383	0.000
均值	152.55±29.89 ^b	115.60±27.52	127.72±23.011 ^{*ab}	28.175	0.000
变异度	803.87±782.19	524.78±561.46	747.54±678.858 [*]	6.803	0.033
偏度	-0.69±0.924 ^{*b}	-0.77±1.103 [*]	0.13±0.72 ^a	19.717	0.000
第10百分位数	125.17±21.808 ^{*b}	91.14±15.752 [*]	99.47±14.277 ^{*a}	21.403	0.000
第50百分位数	152.00±30 ^b	114.00±26	125.00±22.214 ^{*a}	28.729	0.000
第90百分位数	191.69±31.442 ^{*b}	144.14±34.667 [*]	156.00±41 ^a	21.651	0.000
第99百分位数	218.89±30.810 ^{*b}	185.000±33.050 [*]	192.05±37.961 ^{*a}	7.071	0.002

注:^a与异形性腺瘤比较 $P<0.05$,^b与Warthin瘤比较 $P<0.05$;^{*}符合正态分布,用 $\bar{x}\pm s$ 表示;余不符合正态分布者以中位值±四分位间距表示。

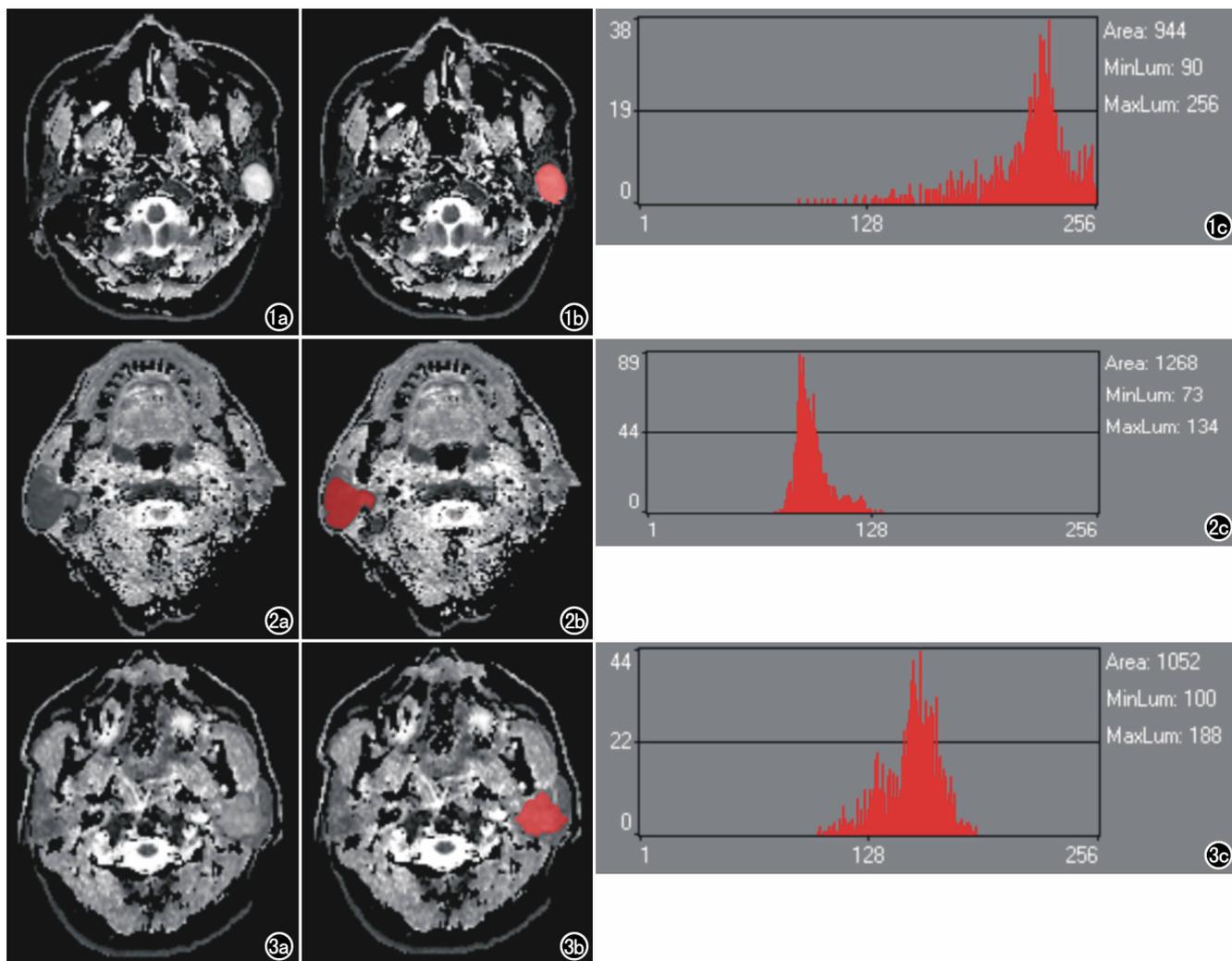


图1 腮腺多形性腺瘤。a)横轴面 ADC 图;b)ROI 选择示例图;c)直方图。图2 腮腺 Warthin 瘤。a)横轴面 ADC 图;b)ROI 选择示例图;c)直方图。图3 腮腺腺样囊腺癌。a)横轴面 ADC 图;b)ROI 选择示例图;c)直方图。

在将其从良性组剔除后 ADC 值的诊断效能可明显提高^[6],因此在本研究中将腮腺常见肿瘤分为三组(多形性腺瘤组、Warthin 瘤组、恶性肿瘤组)进行研究。由于腮腺肿瘤囊变的发生率较高,为其影像学特征之一。因此本研究在进行 ROI 勾画时,包含了同层面瘤体的全部,并未剔除囊变坏死等区域,以避免人为减少肿瘤的异质性特征。

近年来,国内外研究^[1-2,6-7]发现 DWI 有助于腮腺肿瘤的鉴别诊断,但部分结论不一,不典型者仍鉴别困难,ADC 值之间存在较多重叠。通常认为多形性腺瘤的平均 ADC 值最高,恶性肿瘤其次,Warthin 瘤最低^[8-9]。亦有较多报道^[2,6]称 Warthin 瘤与部分恶性肿瘤的 ADC 值并无显著差异,但本研究结果显示 Warthin 瘤组与恶性肿瘤组间 ADC 均值差异具有统计学意义。

以往的 ADC 研究通常仅限于对 ADC 均值的比较,忽略了肿瘤的内部异质性特征。直方图分析利用

数学的方法对 ROI 的灰阶强度分布进行评价,是一种应用于量化肿瘤内部异质性的新方法,可提供临床及传统影像学分析无法提供的量化信息,从而提高诊断的符合率。基于 ADC 图像的直方图分析可以进一步体现肿瘤的弥散特性,从多方面反映肿瘤的异质性^[10]。目前,已有报道显示直方图分析有助于子宫内膜癌、直肠癌、膀胱癌等肿瘤的分级或预后的评估^[11-13],以及胶质母细胞瘤与单发转移瘤、后颅窝肿瘤等的鉴别诊断^[14-15]。但是直方图应用于头颈部肿瘤的报道较少^[16],且多集中于对头颈部鳞癌的相关研究。Wang 等^[17]的研究显示直方图可应用于头颈部淋巴瘤和鳞癌转移性淋巴结的鉴别。Perrot 等^[18]发现 HPV 阳性头颈部鳞癌与 HPV 阴性头颈部鳞癌的直方图特征不同。而有关直方图在腮腺肿瘤中应用的报道更为少见,Julia 等^[19]的研究显示增强 T₁WI 的纹理特征有助于腮腺良恶性占位的鉴别。目前国内外尚未查阅到利用 ADC 直方图对腮腺肿瘤进行鉴别的相关文献。

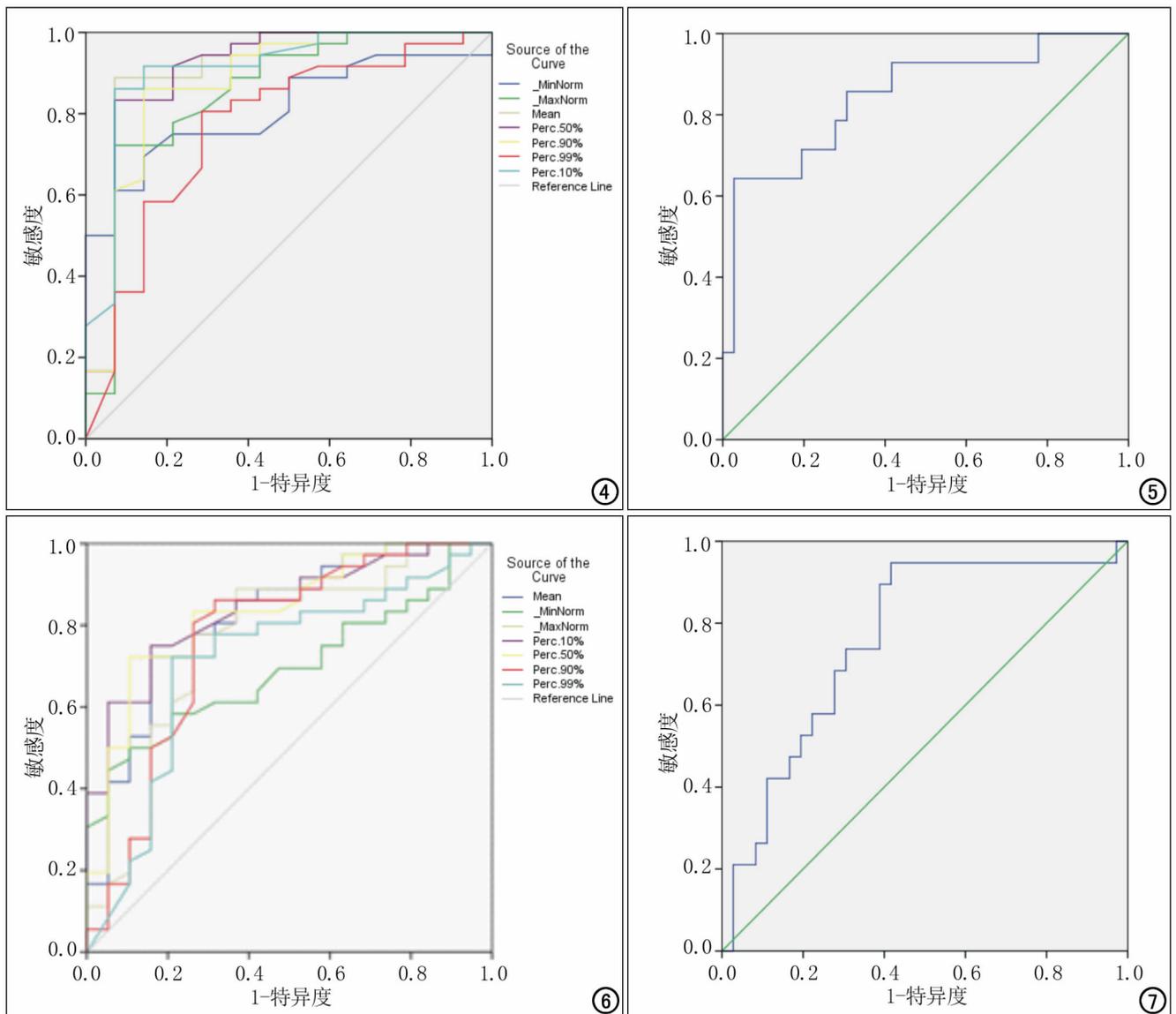


图4 多形性腺瘤与 Warthin 瘤组间最小值、最大值、均值、第 10 百分位数、第 50 百分位数、第 90 百分位数、第 99 百分位数的 ROC 曲线。图5 多形性腺瘤与 Warthin 瘤组间偏度的 ROC 曲线。图6 多形性腺瘤与恶性肿瘤组间最小值、最大值、均值、第 10 百分位数、第 50 百分位数、第 90 百分位数、第 99 百分位数的 ROC 曲线。图7 多形性腺瘤与恶性肿瘤组间偏度的 ROC 曲线。

本研究对三类腮腺常见肿瘤的 ADC 图像进行了直方图分析,结果显示均值在多形性腺瘤与 Warthin 瘤、多形性腺瘤与恶性肿瘤、Warthin 瘤与恶性肿瘤间的差异均具有统计学意义,多形性腺瘤的 ADC 均值最大,恶性肿瘤次之,Warthin 瘤最低,与文献报道基本一致^[8-9],进一步证明了 ADC 对腮腺肿瘤的鉴别诊断具有重要价值。对于多形性腺瘤与 Warthin 瘤/恶性肿瘤的鉴别来说,共有 8 个参数的差异具有统计学意义。除均值外,第 10 百分位数、第 50 百分位数的诊断效能也十分显著(AUC 均大于 0.8),其中第 10 百分位数和第 50 百分位数对多形性腺瘤与恶性肿瘤的鉴别诊断效能要高于均值。将一系列数据按大小排序,第 n 百分位数表示在这列数据中有 n% 的数据的值小

于或等于这个值^[20]。例如在本研究中,多形性腺瘤的第 10 百分位数是 125.17 ± 21.808 ,可理解为在整个瘤体中,10% 区域的 ADC 灰度值 ≤ 125.17 。因此直方图分析结果中不同肿瘤间第 n 百分位数的差异在一定程度上代表了不同肿瘤间瘤体的组织成分不同(肿瘤间的异质性)及瘤体内部的构成或分布不同(肿瘤内部的异质性)。偏度和峰度是描述直方图曲线分布的参数,也是反映肿瘤异质性的较好指标^[21-22]。峰度反映的是与正态分布相比此分布的相对尖锐度或平坦度,正峰值表示比正态分布尖锐,负峰值表示比正态分布平坦。偏度是用来衡量数据分布不对称性的指标,偏度为正值表示分布的主体集中在右侧,即绝大多数的值(包括中位数在内)位于平均值的左侧(小于平均

值),直观表现为右边的尾部相对于与左边的尾部要长。偏度为负值时则相反。偏度的绝对值越大,分布形态偏移程度越大。本研究结果显示多形性腺瘤与 Warthin 瘤的偏度均呈负值,恶性肿瘤的偏度值呈正值,可能与恶性肿瘤多数细胞密度较大有关。其中 Warthin 瘤偏度的绝对值最大,考虑可能与 Warthin 瘤大多数信号混杂有关^[5,23]。

本研究中亦存在许多局限性。第一, Warthin 瘤和恶性肿瘤的病例数相对较少。第二,恶性组中包含多种肿瘤亚型,不同病理类型的恶性肿瘤间可能会存在一定的差异性而对结果产生影响。第三,对其他腮腺良性肿瘤(如腮腺基底细胞腺瘤)及恶性肿瘤不同病理类型的分析有待进一步研究。

综上所述,基于 ADC 的直方图分析可为腮腺常见肿瘤的鉴别诊断提供更多有用信息。均值、第 10 百分位数、第 50 百分位数等参数具有良好的鉴别诊断效能,为临床工作中腮腺肿瘤的进一步精确鉴别诊断提供了新的思路和方法。

参考文献:

- [1] Assili S, Fathi KA, Aghaghazvini L, et al. Dynamic contrast magnetic resonance imaging (DCE-MRI) and diffusion weighted MR imaging (DWI) for differentiation between benign and malignant salivary gland tumors[J]. J Biomed Phys Eng, 2015, 5(4): 157-168.
- [2] Habermann CR, Arndt C, Graessner J, et al. Diffusion-weighted echo-planar MR imaging of primary parotid gland tumors: is a prediction of different histologic subtypes possible[J]. AJNR, 2009, 30(3): 591-596.
- [3] Lee WH, Tseng TM, Hsu HT, et al. Salivary gland tumors: a 20-year review of clinical diagnostic accuracy at a single center[J]. Oncol Lett, 2014, 7(2): 583-587.
- [4] Espinoza S, Felner A, Malinvaud, et al. Warthin's tumor of parotid gland: surgery or follow-up diagnostic value of a decisional algorithm with functional MRI[J]. Diagn Interv Imaging, 2016, 97(1): 37-43.
- [5] 刘其顺, 梁长虹, 黄旻, 等. 腮腺腺淋巴瘤的 CT 及 MRI 诊断[J]. 中华放射学杂志, 2005, 39(4): 406-409.
- [6] 杨功鑫, 王平仲, 朱文静, 等. 腮腺肿瘤的磁共振弥散加权成像评价[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2013, 19(6): 489-493.
- [7] Eida S, Sumi M, Sakihama N, et al. Apparent diffusion coefficient mapping of salivary gland tumors: prediction of the benignancy and malignancy[J]. AJNR, 2007, 28(1): 116-121.
- [8] 王萍, 张成周, 王宁, 等. 常规 MRI 联合 DWI 在腮腺常见肿瘤中的诊断价值[J]. 放射学实践, 2012, 27(4): 378-381.
- [9] Milad P, Elbegiermy M, Shokry T, et al. The added value of pre-treatment DW MRI in characterization of salivary glands pathologies[J]. Am J Otolaryngol, 2017, 38(1): 13-20.
- [10] Tozer DJ, Jger HR, Danchavijitr N, et al. Apparent diffusion coefficient histograms may predict low-grade glioma subtype[J]. NMR Biomed, 2007, 20(1): 49-57.
- [11] Woo S, Cho JY, Kim SY, et al. Histogram analysis of apparent diffusion coefficient map of diffusion-weighted MRI in endometrial cancer: a preliminary correlation study with histological grade[J]. Acta Radiol, 2014, 55(10): 1270-1277.
- [12] Cho SH, Kim GC, Jang YJ, et al. Locally advanced rectal cancer: post-chemoradiotherapy ADC histogram analysis for predicting a complete response[J]. Acta Radiol, 2015, 56(9): 1042-1050.
- [13] Suo ST, Chen XX, Fan Y, et al. Histogram analysis of apparent diffusion coefficient at 3.0T in urinary bladder lesions: correlation with pathologic findings[J]. Acad Radiol, 2014, 21(8): 1027-1034.
- [14] 陈鑫, 魏新华, 杨蕊梦, 等. 常规 MRI 纹理分析鉴别脑胶质母细胞瘤和单发转移瘤的价值[J]. 中华放射学杂志, 2016, 50(3): 186-190.
- [15] Rodriguez Gutierrez D, Awwad A, Meijer L, et al. Metrics and textural features of MRI diffusion to improve classification of pediatric posterior fossa tumors[J]. AJNR, 2014, 35(5): 1009-1015.
- [16] 王国杰, 王颖, 叶颖, 等. 鼻咽癌磁共振高分辨率扩散加权成像表现扩散系数整体直方图参数特征及与肿瘤分期的相关性[J]. 中华医学杂志, 2017, 97(41): 3244-3249.
- [17] Wang YJ, Xu XQ, Hu H, et al. Histogram analysis of apparent diffusion coefficient maps for the differentiation between lymphoma and metastatic lymph nodes of squamous cell carcinoma in head and neck region[J]. Acta Radiol, 2018, 59(6): 672-680.
- [18] de Perrot T, Lenoir V, Domingo Ayllón M, et al. Apparent diffusion coefficient histograms of human papillomavirus-positive and human papillomavirus-cell carcinoma: assessment of tumor heterogeneity and comparison with histopathology[J]. AJNR, 2017, 38(11): 2153-2160.
- [19] Fruehwald-Pallamar J, Czerny C, Holzer-Fruehwald L, et al. Texture-based and diffusion-weighted discrimination of parotid gland lesions on MR images at 3.0 Tesla[J]. NMR Biomed, 2013, 26(11): 1372-1379.
- [20] Just N. Improving tumour heterogeneity MRI assessment with histograms[J]. Br J Cancer, 2014, 111(12): 2205-2213.
- [21] Zhang YD, Wang Q, Wu CJ, et al. The histogram analysis of diffusion-weighted intravoxel incoherent motion (IVIM) imaging for differentiating the gleason grade of prostate cancer[J]. Eur Radiol, 2015, 25(4): 994-1004.
- [22] Baek HJ, Kim HS, Kim N, et al. Percent change of perfusion skewness and kurtosis: a potential imaging biomarker for early treatment response in patients with newly diagnosed glioblastomas[J]. Radiology, 2012, 264(3): 834-843.
- [23] 张镇滔, 郑晓林, 张旭升, 等. 腮腺腺淋巴瘤的 CT、MRI 表现特征[J]. 放射学实践, 2014, 29(5): 529-532.

(收稿日期: 2019-01-07 修回日期: 2019-04-03)