

ADC 直方图在椎体压缩性骨折时间判定中的应用

徐良洲, 黄波, 程晓光, 程克斌, 张鑫, 刘华, 汪鹏, 刘坚, 蔡青蓉

【摘要】 目的:探讨表观扩散系数(ADC)直方图在椎体压缩性骨折时间判断中的可行性。**方法:**搜集 42 例胸腰椎压缩性骨折病例,在 30d 和 90d 时行磁共振扩散加权成像(DWI),在 AW4.6 上后处理得到 ADC 图,计算基于感兴趣区(ROI)的平均 ADC 值,对骨折整体进行 ADC 直方图分析,计算 ADC 值直方图的平均值、中位数、标准差、峰度值和偏度值。采用 *t* 检验比较 30d 和 90d 时的各参数之间是否存在差异,并利用受试者特性曲线(ROC 曲线)评价存在统计差异的参数诊断效能。**结果:**骨折 30d 时,基于 ROI 的 ADC 平均值,直方图 ADC 平均值以及中位数分别为 $(1.14 \pm 0.34) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 、 $(1.22 \pm 0.38) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 及 $(0.97 \pm 0.26) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$,而骨折 90d 时,上述参数分别为 $(0.81 \pm 0.44) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 、 $(0.75 \pm 0.42) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 及 $(0.72 \pm 0.34) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 。90d 时的上述参数均低于 30d 时的参数,有显著统计学差异($P < 0.05$),其 ADC 值分别为 0.811、0.902 和 0.870。**结论:**直方图 ADC 平均值能鉴别新鲜骨折及陈旧骨折,为临床确定骨折时间提供了一定的依据。

【关键词】 胸椎; 腰椎; 骨折, 压缩性; 磁共振成像

【中图分类号】 R323.4; R683 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2018)10-1048-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2018.10.014

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The application of ADC histogram in determination the time of vertebral compression fracture XU Liang-zhou, HUANG Bo, CHENG Xiao-guang, et al. Department of Radiology, Wuhan Hospital of Traditional Chinese Medicine, Wuhan 430014

【Abstract】 Objective: To investigate the feasibility of the apparent diffusion coefficient (ADC) histogram in determination the time of vertebral compression fractures. **Methods:** 42 patients with thoracolumbar vertebral compression fractures were included. Diffusion-weighted imaging (DWI) was performed at 30 days and 90 days. ADC maps were obtained after post-processing on AW4.6 and ADC values were calculated based on regions of interest (ROI). The ADC histogram analysis for whole fractures were calculated, and the ADC value histograms for the mean, median, standard deviation, kurtosis, and skewness values were calculated. The *t*-test was used to compare the differences between the 30-day and 90-day parameters and the ROC curve analysis was used to evaluate the diagnostic efficacy of the parameters with statistical differences. **Results:** At 90 days of fracture, the mean value of ADC based on ROI, mean and median values of histogram ADC were higher than those at 30 days, there was significant statistical difference ($P < 0.05$), and their AUC values were 0.811, 0.902, and 0.870, respectively. **Conclusions:** The mean value of histogram ADC can identify fresh and old fractures, providing a certain basis for the clinical determination of fracture time.

【Key Words】 Thoracic vertebrae; Lumbar vertebrae; Fractures, compression; Magnetic resonance imaging

椎体压缩性骨折(vertebral compression fractures, VCF)常见于老年人,是临床最常见的因骨质疏松引

起的骨折。在压缩性骨折的诊断中,骨折发生时间的判断对临床治疗有重要的指导意义^[1]。椎体骨折的修复过程不同于长骨,无骨皮质骨痂形成,因此常规的放射检查在确定其是新鲜或是陈旧性骨折上存在困难。磁共振传统对比成像可以通过观察骨髓水肿的方法判断骨折发生时间,但信号的高低变化完全基于主观判断,并不能广泛推广。扩散加权成像(diffusion weighted

作者单位: 430014 武汉,武汉市中医医院放射科(徐良洲、黄波、汪鹏、刘坚、蔡青蓉);北京积水潭医院放射科(程晓光、程克斌);北京市公安司法鉴定中心(张鑫、刘华)

作者简介: 徐良洲(1970—),男,武汉人,副主任医师,主要从事肌骨影像学诊断工作。

基金项目: 北京市委、市政府重点工作及区县应急项目预启动计划课题(No. Z121100000312015);武汉市卫生和计划生育委员会科研项目(No. WZ16Z04)

imaging, DWI) 可通过观察水分子运动反映组织内的结构, 而其相应的表现扩散系数 (apparent diffusion coefficient, ADC) 可以得到相对客观的量化结果^[2-4]。直方图分析能更全面的反映数据组成和分布, 在肿瘤鉴别诊断中的价值已有报道^[5,6], 本研究将探讨 ADC 值直方图在骨折时间确定中的应用。

材料与方法

1. 一般资料

搜集我院 2015 年 6 月—2017 年 8 月因负重或跌倒摔伤两周之内就诊, 排除有肿瘤病史, 经 MR 诊断为胸腰椎单纯压缩性骨折的患者 64 例, 以受伤当日为首日计算, 分别在伤后第 30 天和 90 天对研究对象进行两次 MR 随访。其中, 失访 22 例, 最终有 42 获得完整的 MR 图像资料。其中男 16 例, 女 26 例。年龄 58~74 岁, 平均年龄 (64.5±11.8) 岁。

2. 仪器与方法

采用 GE Signa HDxt 1.5T 超导型 MR 系统。扫描线圈使用 8 通道脊柱相控阵线圈, 受试者仰卧位, 头先进。扫描序列: ① T2STIR 序列, 扫描参数: 矢状面定位, 视野 32~36 cm, 回波时间 68 ms, 重复时间 4500 ms, 矩阵 288×224, 层厚 4 mm, 间距 1 mm, 带宽 41.67 KHz, 激励次数 4; ② DWI 序列, 扫描参数: 矢状面定位, 视野 32~36 cm, 回波时间 86 ms, 重复时间 4500 ms, b 值 600 s/mm², 矩阵 96×128, 层厚 4 mm, 间距 1 mm, 带宽 167 KHz, 激励次数 4, 复制 STIR 序列定位线。

3. 图像分析及直方图

扫描完成的图像在 GE AW 4.6 工作站上进行后处理。两名具有 8 年以上骨关节放射科医师对 DWI 图像利用 Functool 软件进行后处理。首先基于 ROI 的方法测量 ADC 值, 在骨折区放置 50~80 mm² 矩形兴趣区 (region of interest, ROI), 测定 3 次取平均值, 同样的方法测量临近正常椎体的 ADC 值。其次, 使用 ImageJ 软件, 勾画骨折的整个范围, 对不同天数时骨折椎体的 ADC 值生成直方图, 同时计算包括平均值、中位数、标准差、峰度值和偏度值。

4. 统计学分析

使用 SPSS 19.0 软件, 计量资料以均数±标准差表示。采用 K-S 检验分析数据的正态分布性, 检验结果服从正态分布。采用独立样本 *t* 检验比较不同天数时基于 ROI 的 ADC 值和 ADC 值直方图参数 (平均值、中位数、标准差、峰度值、偏度值) 的差异。利用受试者特性曲线 (receiver operating characteristic, ROC) 评估存在统计学差异的各参数值对于鉴别新鲜陈旧骨折的诊断效能。*P*<0.05 表示存在统计学差异。

结果

影像表现及直方图定量参数在 STIR 序列上, 压缩性骨折早期信号升高, 随着愈合过程的进展, 信号逐渐下降, 影像表现及 ADC 值直方图如图 1。正常椎体、30d 时骨折椎体及 90d 时骨折椎体基于 ROI 的 ADC 值、直方图 ADC 平均值、中位数、标准差、峰度值及偏度值结果见表 1。其中, 30d 时基于 ROI 的 ADC 值, 直方图 ADC 平均值以及中位数均高于 90d 时的参数, 有显著统计学差异 (*P*<0.05), 而标准差、峰度值和偏度值无明显差异 (表 1, 图 2)。骨折后 30d 及 90d 的所有参数均显著高于正常椎体, 有显著统计学差异 (*P*<0.05)。

ROC 曲线分析: 在新鲜及陈旧骨折的鉴别中, 基于 ROI 的 ADC 平均值、直方图 ADC 平均值及中位数曲线下面积 (AUC) 分别为 0.811、0.902 和 0.870 (图 3), 其中直方图 ADC 平均值具有最大的诊断效能。

讨论

本研究结果表明不同时期椎体压缩骨折 ADC 值的直方图中, 平均值和中位数均存在不同, 其中平均值的敏感度和特异度最高。本研究探讨了整个骨折区 ADC 值的变化及分布特点, 因此对病变区进行了更全面和准确的分析。在笔者的搜索范围内, 这是首次采用 ADC 值直方图的方法进行不同时期骨折的鉴别。

椎体主要由松质骨组成, 骨折愈合过程是骨细胞和毛细血管增生、堆积新骨进行修复, 因此 X 线或 CT 无法观察骨折愈合过程, 而 MR 可通过观察出血、水

表 1 骨折不同时间 ROI 及直方图 ADC 值对比

参数	30d	90d	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
ROI 的 ADC 平均值 (×10 ⁻³ mm ² /s)	1.14±0.34	0.81±0.44	4.018	<0.001
直方图 ADC 平均值 (×10 ⁻³ mm ² /s)	1.22±0.38	0.75±0.42	5.520	<0.001
直方图 ADC 中位数 (×10 ⁻³ mm ² /s)	0.97±0.26	0.72±0.34	3.907	<0.05
直方图 ADC 标准差	0.46±0.23	0.42±0.19	0.831	>0.05
直方图 ADC 峰度值	0.29±0.14	0.25±0.10	1.734	>0.05
直方图 ADC 偏度值	0.33±0.12	0.30±0.08	1.715	>0.05

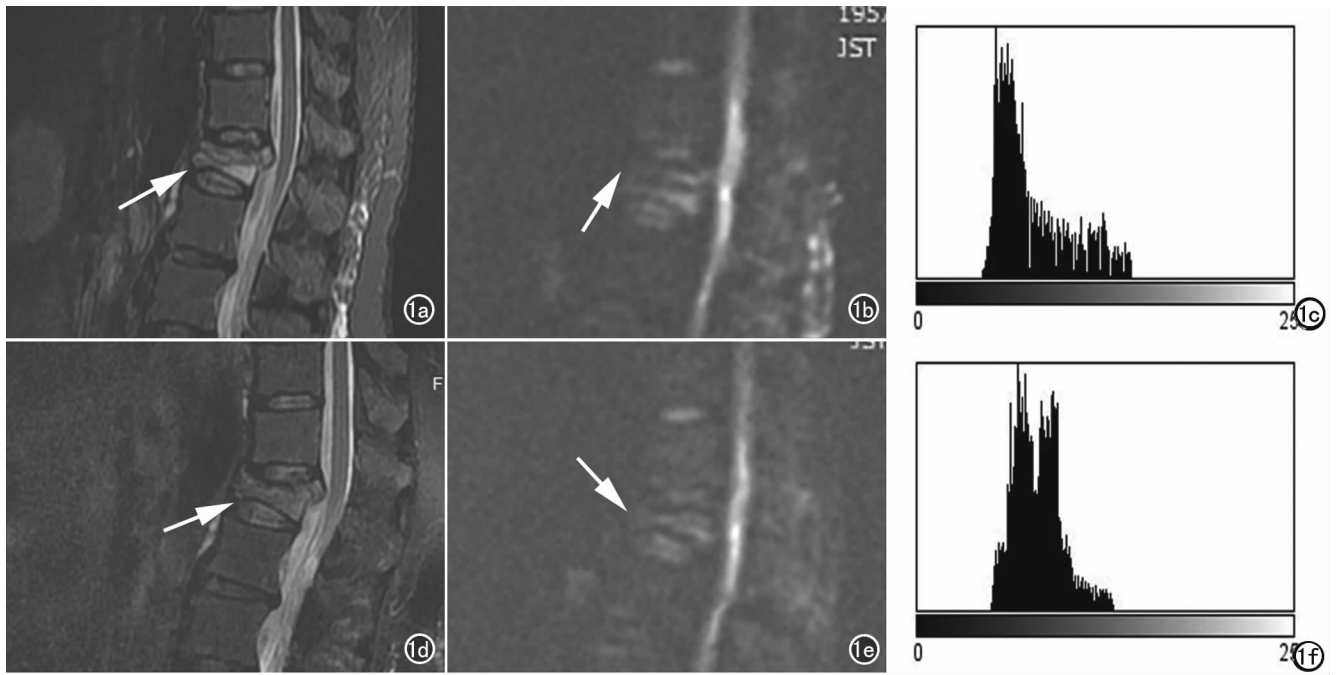


图1 女,68岁,腰3椎体压缩性骨折。a) 压缩30d时STIR图,见椎体形态变为楔形,被压缩椎体的信号升高(箭); b) 压缩30d时的DWI图,被压缩的椎体信号升高(箭); c) 压缩30d时ADC直方图; d) 压缩90d时STIR图,被压缩椎体的信号低于30d时(箭); e) 压缩90d时的DWI图,被压缩的椎体信号低于30d时(箭); f) 压缩90d时ADC直方图。

肿的变化判断骨折时间,但这种方法较为主观,另外受扫描参数影响较大,因此本研究采用相对客观的定量的方法,探讨对水分子扩散程度的量化是否能反映骨折时间。研究发现在骨折30d时,基于ROI的方法得到的ADC值明显高于正常椎体,可能原因是骨小梁是交织的网状结构,正常情况下水分子扩散会受到阻碍,而骨折以后骨小梁断裂,使水分子的扩散更为自由,同时水肿的存在也使ADC值升高。随着骨折的愈合,骨细胞和毛细血管增生、新骨的形成,水分子活

动又受到限制,致使在90d时测量得到的ADC值降低。这与以前报道的结果类似^[7]。

为了更完整的描述整个骨折区ADC值的变化,本研究勾勒的骨折整体范围,并分别以ADC值和相同范围内的像素值作为X轴和Y轴,测量整个骨折区的平均信号值、像素数以及像素数变化范围而进行直方图分析^[8,9]。直方图的均数和中位数可以反映数据的集中趋势和平均水平。本研究结果发现骨折30d时的均数和中位数均高于90d时,这也表明骨折ADC

值变化的整体趋势。同时,平均值的诊断效能高于中位数,这与以前类似研究的数据分析结果一致。骨折后骨内结构复杂,既有出血水肿,同时存在修复,因此平均值能反映整体数据的特点,而中位数虽然不受最大值及最小值的影响,但受数据分布的影响,因此变异性较大。标准差是表明数据偏离平均值的分散程度,越大表明越不均匀。本研究中30d时的ADC值的标准差大于90d时,表明30d

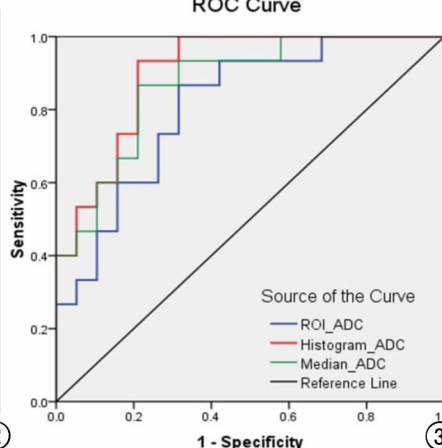
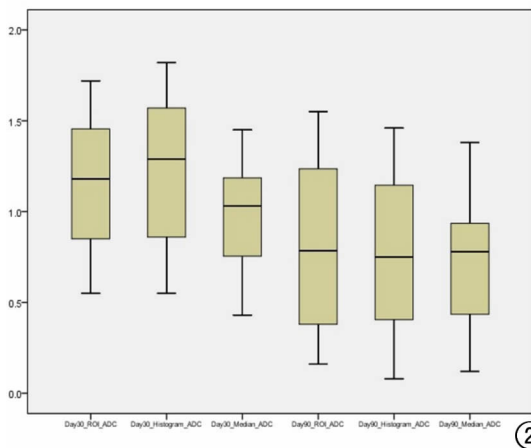


图2 骨折30d、90d时ROI的ADC平均值、直方图ADC平均值及ADC值中位数箱式图。图3 ROI的ADC平均值(蓝线)、直方图ADC平均值(红线)及ADC值中位数(绿线)对新鲜陈旧骨折鉴别的ROC分析。

时组分更为不均匀,但无统计学差异。直方图的峰度值可描述病变总体中数据分布形态的陡缓程度,以正态分布作为参照,正峰度表示数据分布比正态分布更尖锐,而负峰度则表示更平坦^[10]。本研究中 30d 和 90d 的数据分布服从正态分布,因此峰度值之间并无显著差异。姚伟武等^[11]报道肿瘤内部的峰度值显著升高,但骨折的椎体内组织成分多样,修复过程并不存在肿瘤组织内部的高异质性,因此峰度值并无差异。偏度值描述病变特征值分布对称的统计量,表明分布相对平均值的不对称程度^[12,13],同样以正态分布做为参照,向右向左分别对应正负偏度。本研究中 30d 及 90d 的分布均偏向左侧,即表现为负偏度。综上,本研究采用 ADC 直方图的方法,得到了比传统的基于 ROI 的方法相比,获得了更多的诊断参数,且其中直方图 ADC 值的诊断效能更高。

本研究存在一定的不足之处。首先,因为在随访过程中存在很大比例的失访,因此总体样本量较小,需要大样本量进行验证。其次,因矢状面扩散存在一定的图像变形,虽然按照 STIR 序列上的骨折范围在 ADC 图上进行勾勒,但不可避免会存在误差。再次,本研究仅分析骨折的最大层面的二维特征,未能分析整体三维特征的鉴别价值^[14],今后的研究可进一步探讨。

总之,ADC 直方图参数分析能有效区分新鲜骨折及陈旧骨折,其中,平均值有最高的诊断效能,为临床鉴别诊断提供了一定的依据。

参考文献:

[1] Parreira PCS, Maher CG, Megale RZ, et al. An overview of clinical guidelines for the management of vertebral compression fracture: a systematic review[J]. Spine J, 2017, 17(12):1932-1938.

[2] Hoch MJ, Rispoli J, Bruno M, et al. Clinical utility for diffusion MRI sequence in emergency and inpatient spine protocols[J]. Clin Imaging, 2017, 45(9):37-50.

[3] Tsang BK, Foster E, Kam A, et al. Diffusion weighted imaging with trace diffusion weighted imaging, the apparent diffusion coef-

ficient and exponential images in the diagnosis of spinal cord infarction[J]. J Clin Neurosci, 2013, 20(11):1630-1632.

[4] Musio D, De Francesco I, Galdieri A, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging in painful bone metastases: using quantitative apparent diffusion coefficient as an indicator of effectiveness of single fraction versus multiple fraction radiotherapy[J]. Eur J Radiol, 2018, 98(1):1-6.

[5] Takahashi M, Kozawa E, Tanisaka M, et al. Utility of histogram analysis of apparent diffusion coefficient maps obtained using 3.0T MRI for distinguishing uterine carcinosarcoma from endometrial carcinoma[J]. J Magn Reson Imaging, 2016, 43(6):1301-1307.

[6] Umanodan T, Fukukura Y, Kumagai Y, et al. ADC histogram analysis for adrenal tumor histogram analysis of apparent diffusion coefficient in differentiating adrenal adenoma from pheochromocytoma[J]. J Magn Reson Imaging, 2017, 45(4):1195-1203.

[7] 魏君臣, 李保朋, 翟宁. ADC 值与外伤性椎体压缩骨折时间的相关性研究[J]. 医学影像学杂志, 2013, 23(8):1285-1288.

[8] Kondo M, Uchiyama Y. Apparent diffusion coefficient histogram analysis for prediction of prognosis in glioblastoma[J]. J Neuro-radiol, 2017, 21(17):310-314.

[9] 温淑蓉. ADC 直方图分析法鉴别中央带前列腺癌与 T₂WI 低信号增生结节的研究[J]. 放射学实践, 2016, 31(11):1076-1079.

[10] 朱晨迪, 张勇, 程敬亮, 等. MRI 灰度直方图分析在儿童后颅窝常见肿瘤中的鉴别诊断价值[J]. 放射学实践, 2018, 33(3):285-289.

[11] 姚伟武, 李明华, 杨世坝, 等. MR 表观弥散系数定量测定对脊柱压缩性骨折病因的诊断价值研究[J]. 临床放射学杂志, 2004, 23(7):605-610.

[12] 张国琴, 陈鑫, 张思静, 等. T₂WI 直方图鉴别诊断脑胶质母细胞瘤与单发转移瘤的价值[J]. 实用放射学杂志, 2017, 33(12):1779-1783.

[13] 罗乐凯, 任翠萍, 张勇, 等. T₂、ADC 和 T₁ 增强直方图对原发性中枢神经系统淋巴瘤和胶质母细胞瘤鉴别价值比较[J]. 放射学实践, 2018, 33(7):658-663.

[14] Iranmahboob AK, Kierans AS, Huang C, et al. Preliminary investigation of whole-pancreas 3D histogram ADC metrics for predicting progression of acute pancreatitis[J]. Clin Imaging, 2017, 42(5):172-177.

(收稿日期:2018-04-26 修回日期:2018-08-15)