

Dual-energy CT hydroxyapatite-water decomposition technique in differential diagnosis of acute and chronic vertebral compression fractures

PAN Junhan¹, ZHANG Kun^{1,2*}, YAN Luyou¹, ZHONG Zeya¹, LI Ping¹, SHEN Hongrong¹,
GAO Hui¹, HE Yewen¹, ZHOU Shuwei¹, ZHANG Yaxi³

(1. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Hunan University of Chinese Medicine, Changsha 410007, China; 2. College of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine, Hunan University of Chinese Medicine, Changsha 410208, China; 3. GE Healthcare [Shanghai] Co., Ltd., Shanghai 201203, China)

[Abstract] **Objective** To explore the value of dual-energy CT hydroxyapatite (HAP)-water decomposition technique in differential diagnosis of acute and chronic vertebral compression fractures (VCF). **Methods** Data of 31 patients with thoracolumbar VCF were retrospectively analyzed. Taken MRI results as reference standards, the visual evaluation of fusing pseudo-color images of virtual nonhydroxyapatite (VNHAP) was conducted by physicians. The sensitivity, specificity and accuracy of visual assessment in diagnosis of acute VCF were calculated. Compare relative water content in vertebrae was measured in VNHAP grayscale images. ROC curve analysis was performed to evaluate the diagnostic efficiency of relative water content in vertebrae for acute VCF. **Results** MRI showed 80 compressed vertebral bodies among 31 patients, including 46 lumbar vertebrae and 34 thoracic vertebrae, 45 acute VCF and 35 chronic VCF. For visual analysis of VNHAP images, the sensitivity was 93.33% (42/45), specificity was 97.14% (34/35), and accuracy was 95.00% (76/80). The relative water content in vertebrae of acute VCF was $(1\ 015.82 \pm 11.90) \text{ mg/cm}^3$, significantly higher than that of chronic compression fractures $(996.99 \pm 9.29) \text{ mg/cm}^3$ ($P < 0.05$). ROC curve showed taken $1\ 003.20 \text{ mg/cm}^3$ as the cutoff value of the relative water content in vertebrae in diagnosis of acute compression fractures, the sensitivity was 88.89%, specificity was 82.86%, and the AUC was 0.92. **Conclusion** Dual-energy CT HAP-water decomposition technique can be used to differential diagnose acute and chronic VCF, and the diagnostic efficiency of visual assessment is higher than that of quantitative image evaluation.

[Keywords] spinal fractures; fractures, compression; edema; bone marrow; tomography, X-ray computed

DOI:10.13929/j.issn.1672-8475.2020.01.011

双能 CT 羟基磷灰石-水分分离技术鉴别诊断 急性慢性椎体压缩骨折

潘俊含¹, 张堃^{1,2*}, 颜路悠¹, 钟泽亚¹, 李平¹, 沈宏荣¹,
高辉¹, 何业文¹, 周淑伟¹, 张雅茜³

[1. 湖南中医药大学第一附属医院放射科, 湖南长沙 410007; 2. 湖南中医药大学中西医结合学院, 湖南长沙 410208; 3. 通用电气医疗系统贸易发展(上海)有限公司, 上海 201203]

[摘要] **目的** 探讨双能 CT 羟基磷灰石(HAP)-水分分离技术鉴别急性慢性椎体压缩骨折的价值。**方法** 回顾性分析 31

[基金项目] 国家自然科学基金青年科学基金(81603482)、湖南省自然科学基金(2016JJ6115)、中国博士后科学基金面上项目(2017M622586)、湖南中医药大学重点学科建设项目(4901-020000200806)。

[第一作者] 潘俊含(1996—),女,浙江温州人,本科在读。研究方向:骨骼肌肉系统影像诊断。E-mail: 543713192@qq.com

[通信作者] 张堃,湖南中医药大学第一附属医院放射科,410007;湖南中医药大学中西医结合学院,410208。E-mail: kun_zhang0102@163.com

[收稿日期] 2019-05-09 **[修回日期]** 2019-12-01

例胸椎/腰椎椎体压缩骨折患者的临床资料,以 MRI 诊断结果为参考标准,对双能 CT 虚拟去 HAP(VNHAP)融合伪彩图进行视觉评估,并测量 VNHAP 灰度图中椎体相对水含量,计算医师视觉评估诊断急性椎体压缩骨折的敏感度、特异度及准确率;绘制 ROC 曲线,分析骨折椎体相对水含量对急性椎体压缩骨折的诊断效能。**结果** 31 例中, MRI 显示 80 个病变椎体,其中腰椎 46 个、胸椎 34 个,急性压缩骨折椎体 45 个、慢性压缩骨折椎体 35 个。医师视觉评估诊断急性椎体压缩骨折的敏感度为 93.33%(42/45),特异度 97.14%(34/35),准确率 95.00%(76/80)。急性压缩骨折椎体相对水含量($1\,015.82 \pm 11.90$)mg/cm³,高于慢性压缩骨折椎体的(996.99 ± 9.29)mg/cm³($P < 0.05$)。ROC 曲线结果显示,以椎体相对水含量为 $1\,003.20$ mg/cm³ 为阈值,其诊断急性椎体压缩骨折的敏感度和特异度分别为 88.89% 和 82.86%,AUC 为 0.92。**结论** 双能 CT HAP-水分离技术可用于鉴别急性慢性椎体压缩骨折,且视觉评估的诊断效能高于定量分析。

【关键词】 脊柱骨折;骨折,压缩性;水肿;骨髓;体层摄影术,X 线计算机

【中图分类号】 R683.2; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1672-8475(2020)01-0035-04

随着人口老龄化程度日益严重,脊柱骨折发生率逐年增高,以胸、腰椎压缩骨折最为常见,严重降低患者生活质量和生存率^[1-2]。早期明确诊断急慢性椎体压缩骨折并及时干预具有重要临床意义。MRI 是影像学诊断骨髓损伤的金标准^[3],但检查时间长、费用高、禁忌证多。研究^[4-8]表明,双能 CT 虚拟去钙成像(virtual noncalcium, VNCa)对诊断急性压缩骨折骨髓水肿具有较高敏感度和特异度。羟基磷灰石(hydroxyapatite, HAP)是骨骼的主要成分之一,但目前尚少见以 HAP-水为基物质对的双能 CT 诊断骨折研究。本研究观察双能 CT HAP-水分离技术鉴别急性慢性椎体压缩骨折的价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析 2018 年 10 月—2019 年 1 月我院收治的 31 例胸椎/腰椎椎体压缩骨折患者,年龄 27~92 岁,平均(70.7 ± 13.1)岁;其中男 9 例,平均年龄(62.8 ± 18.4)岁;女 22 例,平均年龄(74.0 ± 8.8)岁。纳入标准:①MRI 确诊为急性或慢性胸椎/腰椎椎体压缩骨折;②接受双能 CT 检查,且检查时间与 MRI 检查时间间隔 < 3 天。排除标准:①合并椎体肿瘤、感染、钙磷代谢异常等基础疾病;②既往有椎体骨折手术史;③怀孕或哺乳期妇女;④患者不能合作;⑤具有 CT 及 MRI 检查禁忌证;⑥骨折椎体明显塌陷。

1.2 仪器与方法 采用 GE Revolution CT 扫描仪,以 GSI 模式行脊柱双能 CT,管电压 80~140 kVp,管电流 190 mA,准直宽度 0.625 mm,旋转时间 0.8 s/周,螺距 1.375。以 GE HDxT 3.0T MR 扫描仪,全脊柱线圈,行矢状位 T1 加权快速自旋回波序列(TR/TE 600 ms/10 ms,层厚 4 mm,层距 0.4 mm, NEX 2),矢状位 T2 加权快速自旋回波序列(TR/TE 2 900 ms/92 ms,层厚 4 mm,层距 0.4 mm, NEX 2)和矢状位 T2 加权反转恢复快速自旋回波序列(TR/TE 2 900 ms/92 ms,反转时间 210 ms,层厚 4 mm,层距

0.4 mm, NEX 2)扫描。

1.3 图像处理与分析 将双能 CT 扫描数据传输至 GE ADW 4.6 工作站进行后处理,生成虚拟去 HAP(virtual nonhydroxyapatite, VNHAP)图像,即虚拟水图,并将 VNHAP 图像与 70 kVp 单能 CT 图像融合成伪彩图。由 1 名有 10 年骨骼肌肉影像学诊断经验的放射科副主任医师阅读 MRI,评估所有压缩骨折椎体,以椎体内见稍长 T1、稍长 T2、T2 脂脑抑制高信号作为骨髓水肿的诊断标准,并以椎体内见骨髓水肿信号为急性压缩骨折的诊断标准。将 MRI 诊断结果作为参考标准。

由 2 名放射科医师(评价者 1、2,分别有 10、5 年骨骼肌肉影像学诊断工作经验)在双盲情况下独立对 VNHAP 融合伪彩图进行视觉评估,采用二分法判断是否存在骨髓水肿,如存在即诊断为急性压缩骨折。评估者可自由进行图像缩放和窗宽、窗位调节,意见不一致时经讨论后达成共识。

另选 2 名放射科医师(评价者 3、4,分别有 3、5 年骨骼肌肉影像学诊断工作经验)经协商一致后在矢状位 VNHAP 灰度图上标注 ROI,检测椎体相对水含量。于椎体前、后部距骨皮质 > 2 mm 处,避开椎旁静脉丛及骨岛选取 ROI,取 2 次测量的平均值作为最终结果。根据椎体压缩程度,ROI 直径为 5~10 mm。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 20.0 统计分析软件。计算评价者 1 和 2 视觉评估诊断急性椎体压缩骨折的敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值及准确率;对评价者 1 和 2 评估结果行 Kappa 检验,评价其一致性。以独立样本 t 检验比较急性慢性椎体压缩骨折椎体相对水含量。绘制 ROC 曲线,分析骨折椎体相对水含量对急性椎体压缩骨折的诊断效能。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

31 例中, MRI 显示 80 个病变椎体,其中腰椎 46 个,

胸椎 34 个;急性压缩骨折椎体 45 个,慢性压缩骨折椎体 35 个。2 名医师在 VNHAP 融合伪彩图上诊断急慢性椎体压缩骨折的敏感度为 93.33%,特异度 97.14%,阳性预测值 97.67%,阴性预测值 91.89%,准确率 95.00%,见表 1;二者评估结果的 Kappa 值为 0.90。

在 VNHAP 灰度图上,急性压缩骨折椎体相对水含量为 $(1\,015.82 \pm 11.90) \text{ mg/cm}^3$,高于慢性压缩骨折椎体的 $(996.99 \pm 9.29) \text{ mg/cm}^3$ ($t = 7.23$, $P < 0.05$),见图 1。ROC 曲线结果显示,以椎体相对水含量 $1\,003.20 \text{ mg/cm}^3$ 为阈值,其诊断急性椎体压缩骨折的敏感度和特异度分别为 88.89% 和 82.86%,AUC 为 0.92,见图 2。

3 讨论

在骨质疏松及骨质疏松基础上的创伤是导致椎体压缩骨折的最常见原因。本研究中女性患者占 70.97% (22/31),平均 (74.0 ± 8.8) 岁,提示椎体压缩骨折在老年女性中发病率较高,这可能与女性 40 岁后雌激素水平下降导致骨密度降低有关^[9]。与四肢骨折相比,胸椎及腰椎压缩骨折临床症状相对较轻,常在胸腹部 CT 扫描时偶然发现,漏诊率高^[10]。早期准确诊断椎体急慢性压缩骨折,对选择适当治疗方案、避免再次发生骨折及预防相关并发症具有重要意义,可有效降低致残率和死亡率^[9,11]。

常规 CT 诊断椎体压缩骨折多依靠椎体形态改变,由于骨髓水肿、出血及骨小梁细微骨折等,骨折部位 CT 值常增高,但 CT 值对诊断骨髓水肿的价值有限。双能 CT 利用单一球管进行瞬时 ($< 0.5 \text{ ms}$) 高、低能量 (140 kVp 和 80 kVp) 切换,产生双能数据,实现数据空间能谱解析和物质分离^[12],可在直观显示解剖细节的同时,通过物质分离技术将松质骨中钙盐部分去除,得到骨髓评估图像。

表 1 评价者 1、2 视觉评估 VNHAP 融合伪彩图诊断椎体压缩骨折结果 [% (个)]

评价者	敏感度	特异度	阳性预测值	阴性预测值	准确率
1	91.11(41/45)	97.14(34/35)	97.62(41/42)	89.47(34/38)	93.75(75/80)
2	88.89(40/45)	94.29(33/35)	95.24(40/42)	86.84(33/38)	91.25(73/80)
综合判断	93.33(42/45)	97.14(34/35)	97.67(42/43)	91.89(34/37)	95.00(76/80)

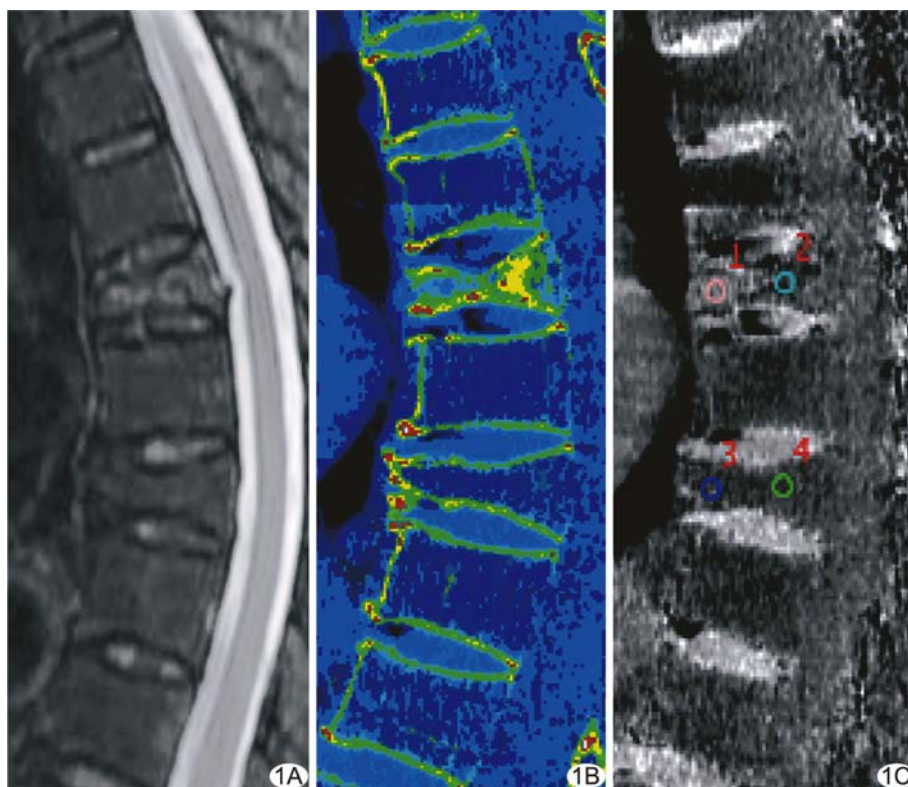


图 1 患者男,68 岁,T7 椎体急性压缩骨折,T9 椎体慢性压缩骨折 A. 矢状位 T2 脂肪抑制序列 MRI,T7 椎体斑片状高信号提示骨髓水肿,T9 椎体内未见明显异常高信号; B. 矢状位 VNHAP 融合伪彩图 T7 椎体较其他椎体色彩异常; C. 矢状位 VNHAP 灰度图,T7 椎体 ROI (1~4) 内所测相对水含量为 $1\,012.72 \text{ mg/cm}^3$,高于 T9 椎体的 993.48 mg/cm^3

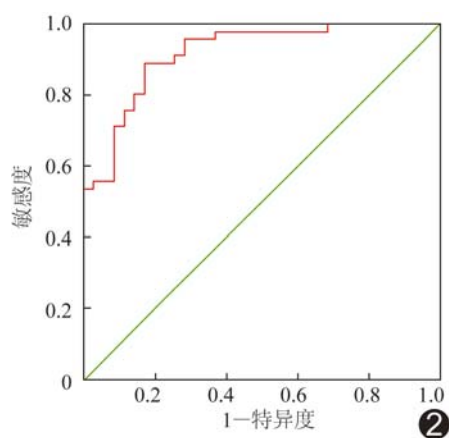


图 2 根据椎体相对水含量诊断急性椎体压缩骨折的 ROC 曲线

椎体的主要成分为 HAP、黄骨髓(主要成分为脂肪)、红骨髓、水及胶原基质等物质。近年来,多项研究^[4-8]表明,双能 CT VNCa 技术有助于显示椎体骨髓水肿,诊断椎体压缩骨折具有较高效能。本研究采用 HAP-水作为基物质对,与钙-水基物质对相比,更接近椎体的真实成分;结果显示 VNHAP 融合伪彩图视觉评估诊断椎体骨髓水肿的准确率较高,尤其是具有较高的阴性预测值(91.89%),提示其为排除椎体骨髓损伤的有效手段。然而本组视觉评估结果中仍存在 1 例假阳性和 3 例假阴性,可能原因在于骨髓中存在一定比例的混合红骨髓和脂肪,其在 VNHAP 融合伪彩图上的表现与骨髓水肿相似,故假阳性可出现在局部红骨髓含量升高的椎体^[13];而假阴性病例椎体骨髓水肿程度较轻,2 例位于近皮质处,双能 CT 对椎体皮质区骨折的诊断效能不及 MRI^[14],另 1 例假阴性发生于有明显骨质硬化的椎体内,在去 HAP 后处理中,骨质硬化可能掩盖了骨髓水肿表现。此外,本研究中有 10 年工作经验的评价者 1 视觉评估的敏感度及特异度均高于有 5 年工作经验的评价者 2,提示双能 CT 骨髓水肿视觉评估结果与阅片者自身专业水平有关^[15]。

本研究结果显示,急性压缩骨折椎体相对水含量高于慢性压缩骨折,ROC 曲线分析显示,以椎体相对水含量 1 003.20 mg/cm³ 为阈值,其诊断急性压缩骨折的敏感度和特异度分别为 88.89% 和 82.86%,AUC 达 0.92,高于既往 VNCa 定量分析结果^[4,6,8]。上述结果提示,双能 CT HAP-水分离技术是鉴别诊断急慢性椎体压缩骨折的有力工具。此外,本组 VNHAP 融合伪彩图视觉评估的敏感度及特异度(93.33%、97.14%)均高于定量分析结果(88.89%、82.86%),提示在实际临床工作中,可通过直接对融合伪彩图进行视觉评估鉴别诊断急慢性椎体压缩骨折。

综上所述,双能 CT HAP-水分离技术可用于鉴别急慢性椎体压缩骨折。但本研究样本量偏小,且未分析扫描及后处理参数对评估结果的影响,尚待完善。

[参考文献]

- [1] CUNNINGHAM T D, MARTIN B C, DESHIELDS S C, et al. The impact of osteoporotic fractures compared with other health conditions in older adults living in Virginia, United States[J]. *Osteoporos Int*, 2016, 27(10):2979-2988.
- [2] CAULEY J A, LUI L Y, PAUDEL M L, et al. Impact of radiographic vertebral fractures on inpatient healthcare utilization in older women[J]. *Bone*, 2016, (88):165-169.
- [3] PIAZZOLLA A, SOLARINO G, LAMARTINA C, et al. Vertebral bone marrow edema (VBME) in conservatively treated acute vertebral compression fractures (VCFs): Evolution and clinical correlations[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2015, 40(14):E842-848.
- [4] PETRITSCH B, KOSMALA A, WENG A M, et al. Vertebral compression fractures: Third-generation dual-energy CT for detection of bone marrow edema at visual and quantitative analyses[J]. *Radiology*, 2017, 284(1):161-168.
- [5] FRELLESEN C, AZADEGAN M, MARTIN S S, et al. Dual-energy computed tomography-based display of bone marrow edema in incidental vertebral compression fractures: Diagnostic accuracy and characterization in oncological patients undergoing routine staging computed tomography[J]. *Invest Radiol*, 2018, 53(7):409-416.
- [6] 赵承勇, 罗松, 邓小毅, 等. 双能量 CT 虚拟去钙成像在鉴别急慢性椎体压缩性骨折中的研究[J]. *医学影像学杂志*, 2018, 28(9):1535-1539.
- [7] 章辉庆, 刘海燕, 邱晓晖, 等. 双能量 CT 虚拟去钙图诊断椎体骨髓水肿[J]. *中国医学影像技术*, 2019, 35(2):260-263.
- [8] 王林, 陈佳佳, 龚沈初, 等. 第 3 代双源双能量 CT 虚拟去钙技术检测胸腰椎骨髓水肿的临床研究[J]. *东南大学学报(医学版)*, 2018, 37(2):210-214.
- [9] BLIUC D, NGUYEN N D, ALARKAWI D, et al. Accelerated bone loss and increased post-fracture mortality in elderly women and men[J]. *Osteoporos Int*, 2015, 26(4):1331-1339.
- [10] CHAN P L, REDDY T, MILNE D, et al. Incidental vertebral fractures on computed tomography[J]. *N Z Med J*, 2012, 125(1350):45-50.
- [11] KLAZEN C A, LOHLE P N, DE VRIES J, et al. Vertebroplasty versus conservative treatment in acute osteoporotic vertebral compression fractures (Vertos II): An open-label randomised trial[J]. *Lancet*, 2010, 376(9746):1085-1092.
- [12] MALLINSON P I, COUPAL T M, MCLAUGHLIN P D, et al. Dual-energy CT for the musculoskeletal system[J]. *Radiology*, 2016, 281(3):690-707.
- [13] BIERRY G, VENKATASAMY A, KREMER S, et al. Dual-energy CT in vertebral compression fractures: Performance of visual and quantitative analysis for bone marrow edema demonstration with comparison to MRI[J]. *Skeletal Radiology*, 2014, 43(4):485-492.
- [14] WANG C K, TSAI J M, CHUANG M T, et al. Bone marrow edema in vertebral compression fractures: Detection with dual-energy CT[J]. *Radiology*, 2013, 269(2):525-533.
- [15] KAUP M, WICHMANN J L, SCHOLTZ J E, et al. Dual-energy ct-based display of bone marrow edema in osteoporotic vertebral compression fractures: Impact on diagnostic accuracy of radiologists with varying levels of experience in correlation to MR imaging[J]. *Radiology*, 2016, 280(2):510-519.