❖骨骼肌肉影像学

Dual-energy CT virtual noncalcium imaging for detecting bone marrow edema in vertebrae

*ZHANG Huiqing**，*LIU Haiyan*，*QIU Xiaohui*，*JIA Lizhi*，*XIE Fuyou*，*WANG Li*
（*Department of Image Center*，*Bozhou People's Hospital*，*Bozhou* 236800，*China*）

[**Abstract**] **Objective**　To observe the value of dual-energy virtual noncalcium (DE-VNCa) using dual-source CT in diagnosis of vertebral bone marrow edema under different relative contrast material ratio (RCMR). **Methods**　Totally 37 patients with spinal trauma and low back pain who underwent dual-source CT dual-energy scan and MR examination were enrolled. Taken RCMR value as 1.28，1.45，1.75 and 1.85，respectively，the 4 groups of DE-VNCa images were reconstructed. The best RCMR value was obtained through calculating the effect of 4 groups of images in diagnosis of vertebral bone marrow edema taken MRI diagnosis as golden standards. CT value and fat content of lumbar vertebral bone marrow edema area and normal vertebral body were measured and compared on the optimal imaging. The efficacy of CT value and fat content in diagnosis of lumbar bone marrow edema were evaluated using ROC curve. **Results**　When RCMR value was 1.28，1.45，1.75 and 1.85，the Youden index in diagnosis of lumbar bone marrow edema was 0.02，0.35，0.82 and 0.73，respectively. DE-VNCa imaging had the highest diagnostic efficiency when RCMR value was 1.75. The difference of CT value and fat content between the edema area of lumbar vertebrae and normal vertebrae was statistically significant on images of RCMR＝1.75 (both $P<0.01$). Taking CT value＝10.25 HU and fat content＝24.50% as the critical value，the AUC under ROC curves in diagnosis of lumbar bone marrow edema was 0.95 and 0.91，respectively (both $P<0.01$). **Conclusion**　DE-VNCa imaging of dual-source CT has high clinical value in diagnosis of vertebral bone marrow edema when RCMR is 1.75，and CT value and fat content are helpful to diagnosis of lumbar bone marrow edema.

[**Keywords**] bone marrow edema；vertebrae；relative contrast material ratiol；tomography，X-ray computed；dual-energy
DOI：10.13929/j.1003-3289.201808071

双能量 CT 虚拟去钙图诊断椎体骨髓水肿

章辉庆*，刘海燕，邱晓晖，郝立志，解福友，王　利
（亳州市人民医院影像中心，安徽 亳州　236800）

[**摘　要**] **目的**　探讨双源 CT 双能量虚拟去钙(DE-VNCa)图在不同对比物质相对比值(RCMR)条件下对椎体骨髓水肿的临床诊断价值。**方法**　对 37 例脊柱外伤及腰背部疼痛患者行双源 CT 双能量扫描及 MR 检查，RCMR 值分别取 1.28、1.45、1.75、1.85，重建 4 组 DE-VNCa 图像。以 MRI 诊断为金标准，计算 4 组图像诊断椎体骨髓水肿的效能，获得最优 RCMR 值，并在此最优条件下测量并比较腰椎骨髓水肿区与正常椎体的 CT 值和脂肪含量，以 ROC 曲线评价 CT 值和脂肪含量诊断腰椎骨髓水肿的效能。**结果**　RCMR 值取 1.28、1.45、1.75、1.85 时，诊断腰椎骨髓水肿的约登指数分别为 0.02、0.35、0.82、0.73；RCMR 为 1.75 时，DE-VNCa 图诊断效能最高。以 RCMR＝1.75 重建 DE-VNCa 图，腰椎骨髓水肿区与正常椎体的 CT 值和脂肪含量差异均有统计学意义(P 均<0.01)。以 CT 值＝10.25 HU 和脂肪含量＝24.50%为临界值，诊断腰椎骨髓水肿的 AUC 分别为 0.95 和 0.91(P 均<0.01)。**结论**　双源 CT DE-VNCa 图在 RCMR 为 1.75 时诊断椎体骨髓水肿的临床价值较高；CT 值和脂肪含量有助于诊断腰椎骨髓水肿。

[**第一作者**] 章辉庆(1976—)，男，安徽池州人，硕士，副主任医师。研究方向：心脑血管及骨关节系统影像学。
[**通信作者**] 章辉庆，亳州市人民医院影像中心，236800。E-mail：zhq7611@sohu.com
[**收稿日期**] 2018-08-10　[**修回日期**] 2018-11-03

[关键词] 骨髓水肿;椎体;对比物质相对比值;体层摄影术,X 线计算机;双能量
[中图分类号] R683.2; R445.2 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2019)02-0260-04

椎体骨髓水肿对准确诊断早期骨折及选择临床治疗方案有重要意义。MR 检出骨髓水肿的敏感度高,但检查时间长,对患者配合程度的要求较高,不适用于急性危重患者和 MR 检查禁忌证患者[1]。目前双源 CT 双能量技术在骨髓水肿方面的临床应用及价值逐步得到认可,可用于检出外伤及骨质疏松引起的骨髓水肿[1-3]。本研究选择不同的对比物质相对比(relative contrast material ratio, RCMR)值(1.28、1.45、1.75、1.85)[4-6],通过双源 CT 双能量虚拟去钙(dual energy virtual noncalcium, DE-VNCa)图诊断骨髓水肿,获得最佳 RCMR 值,测量椎体 CT 值及脂肪含量,并评价其诊断骨髓水肿的效能,旨在为临床早期诊治骨髓水肿提供可靠依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2017 年 9 月—2018 年 3 月于我院骨科就诊的 37 例患者,男 22 例,女 15 例,年龄 18～86 岁,平均(59.1±15.4)岁。纳入标准:①有明确外伤史,外伤后 1 周内接受 MRI 和双源 CT 双能量检查;②因腰背部疼痛而拟诊椎体压缩性骨折。排除标准:①MR 检查禁忌证;②图像质量差,不能满足诊断。本研究通过本院医学伦理委员会审查(编号 2018ZDB-009)。

1.2 仪器与方法 对所有患者在 3 天内完成 MRI 和双源 CT 双能量检查。

1.2.1 双源 CT 检查 采用 Siemens Definition Flash 双源 CT。嘱患者仰卧,按照临床检查需要确定 CT 扫描范围,A、B 球管的管电压分别为 80 kV、140 kV,自动毫安秒技术。准直器宽度 32×0.6 mm,转速 0.5 s/rot,螺距 0.7,双能量图像重建层厚 1.5 mm(软组织窗重建,卷积核 Q30f medium smooth,用于多参数双能量后处理),混合能量平均加权图像(相当于常规 120 kV 图像)重建层厚 1 mm(骨窗重建,卷积核 B60f sharp,用于观察病变)。将重建后的双能量图像传输至 Siemens syngo.via 后处理工作站,在 CT 双能量模式下以 SpineBoneMarrow 功能重建图像,获得虚拟去钙(virtual noncalcium, VNCa)图像,平滑滤波参数为 3,处理像素的最大 CT 值为 800 HU,RCMR 值分别采用 1.28、1.45、1.75、1.85,重建 4 组 DE-VNCa 图像。

1.2.2 MR 检查 采用 Siemens Magnetom Verio 3.0T MR 扫描仪,Tim 表面线圈。扫描序列:矢状位 T1W,TR 460 ms,TE 9.8 ms,带宽 248 Hz/Px;矢状位 T2W,TR 2 500 ms,TE 104 ms,带宽 248 Hz/Px;矢状位脂肪抑制 T2W,TR 4 500 ms,TE 53 ms,带宽 252 Hz/Px;对骨髓水肿椎体行轴位脂肪抑制 T2W,TR 4 000 ms,TE 112 ms,带宽 256 Hz/Px。以上序列层厚均为 4 mm,层间距均为 0.4 mm。

1.3 图像评价标准 由 2 名影像科主治医师共同分析 MRI,判断骨髓水肿情况。以椎体内见稍长 T1 稍长 T2 信号、脂肪抑制 T2WI 呈高信号为骨髓水肿[7]。由另外 2 名影像科主治医师对不同 RCMR 值的 DE-VNCa 图进行分析,以存在明确骨髓密度(伪彩图颜色变化)改变为骨髓水肿,如有争议,则由另 1 名副主任医师共同判断,达成一致意见。以 MRI 诊断结果为金标准[8],对不同 RCMR 值的 DE-VNCa 图对椎体骨髓水肿的诊断效能进行分析,选出较优 RCMR 值。对腰椎病变患者,于优选出的 RCMR 参数 DE-VNCa 图上,将 ROI 放置于骨髓水肿区和正常椎体,ROI 面积≥0.3 cm^2,尽量避开骨皮质区域,测量其 CT 值及脂肪含量,取 2 名医师测量的平均值。

1.4 统计学方法 采用 SPSS 19.0 统计分析软件。服从正态分布的计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,腰椎骨髓水肿区与正常椎体的 CT 值和骨髓脂肪含量的比较采用配对样本 t 检验。以 MRI 诊断结果为金标准,计算不同 RCMR 值下 VNCa 图诊断骨髓水肿的敏感度、特异度、准确率和约登指数。采用 ROC 曲线分析 CT 值和骨髓脂肪含量对腰椎骨髓水肿的诊断效能。$P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

对 37 例均完成 MR 和双源 CT 检查,共检查 253 个椎体,MRI 诊断骨髓水肿 47 个,其中胸椎 14 个,腰椎 33 个。

2.1 不同 RCMR 值条件下诊断 VNCa 图骨髓水肿的效能 RCMR 值为 1.28、1.45、1.75、1.85 时 VNCa 图对椎体骨髓水肿的诊断效能见表 1,约登指数分别为 0.02、0.35、0.82、0.73,其中 RCMR 值为 1.75 时约登指数最大,VNCa 图显示骨髓水肿效果最好(图 1),其敏感度、特异度及准确率分别为 85.11%(40/47)、96.60%(199/206)和 94.47%(239/253)。

2.2　CT 值及脂肪含量诊断腰椎骨髓水肿的效能　在 RCMR 值为 1.75 的重建 DE-VNCa 图上测量腰椎骨髓水肿区 CT 值为(37.81±4.13)HU，正常椎体 CT 值为(−12.32±4.06)HU，差异有统计学意义(t=13.14，P<0.01)。ROC 曲线(图 2A)显示，CT 值诊断腰椎骨髓水肿的临界值为 10.25 HU，AUC 为 0.95(P<0.01)，95% CI 为(0.90，1.00)，敏感度为 90.32%，特异度为 87.10%。

表 1　不同 RCMR 值 VNCa 图诊断椎体骨髓水肿的效能

RCMR 值	约登指数	敏感度[%(个)]	特异度[%(个)]	准确率[%(个)]
1.28	0.02	6.38(3/47)	96.12(198/206)	79.45(201/253)
1.45	0.35	44.68(21/47)	90.29(186/206)	81.82(207/253)
1.75	0.82	85.11(40/47)	96.60(199/206)	94.47(239/253)
1.85	0.73	82.98(39/47)	89.81(185/206)	88.54(224/253)

腰椎骨髓水肿区脂肪含量为(11.06±3.19)%，正常椎体为(46.41±3.59)%，两者间差异有统计学意义(t=9.83，P<0.01)。ROC 曲线(图 2B)显示，脂肪含量诊断腰椎骨髓水肿的临界值为 24.50%，AUC 为 0.91(P<0.01)，95% CI 为(0.84，0.98)，敏感度为 83.87%，特异度为 83.87%。

3　讨论

双源 CT 利用 2 个球管和 2 个固定能量(80 kV 和 140 kV)同时发射 X 线，X 线穿过扫描物质后，分别对 2 种衰减后的能量级图像进行重建，从而获得不同能量级的图像。不同物质在不同能量级下对 X 线的衰减程度不同，故采用双源 CT 可区分不同物质[9-10]。临床上双源 CT 双能量成像可用于显示痛风结节[11-12]、分析泌尿系结石成分[13]、诊断关节韧带损伤[14]和减轻金属伪影[15]等，亦可用于诊断骨髓水肿[2,16]。应用 VNCa 技术，去除骨髓中的钙质成分，可通过伪彩图显示骨髓水肿[9,17]。正常骨髓腔去除钙质成分后留下的基本上是脂肪成分，当骨质损伤后会产生水肿、出血等反应，导致 VNCa 图 CT 值改变；通过测量 CT 值，亦可定量反映骨髓水肿后发生的变化[2-3]。

RCMR 值是双源 CT VNCa 成像中的一个重要重建参数，表示同一物质在不同能量下 CT 值的比值，目前对于脊柱 DE-VNCa 成像中的最佳 RCMR 值尚无统一认识。Wang 等[4-6]的研究中，RCMR 值分别为 1.28、1.45、1.75，均能显示骨髓水肿，但未进行多参数对比。本研究采用 4 个 RCMR 值，分别为 1.28、1.45、1.75 和 1.85，结果表明，RCMR 值为 1.75 时，DE-VNCa 图对脊柱骨髓水肿的诊断效能最高，约登指数为 0.82；RCMR 值取 1.85 时，显示骨髓水肿的效果也较好，约登指数为 0.73，但假阳性较多(图 1E)。因此，对于脊柱骨折，重建 DE-VNCa 图 RCMR 值宜采用 1.75，可获得较高的诊断敏感度和特异度。

DE-VNCa 图像中胸椎与腰椎的 CT 值不同(胸椎为正值、腰椎为负值)[18]，本研究只测量腰椎的 CT 值

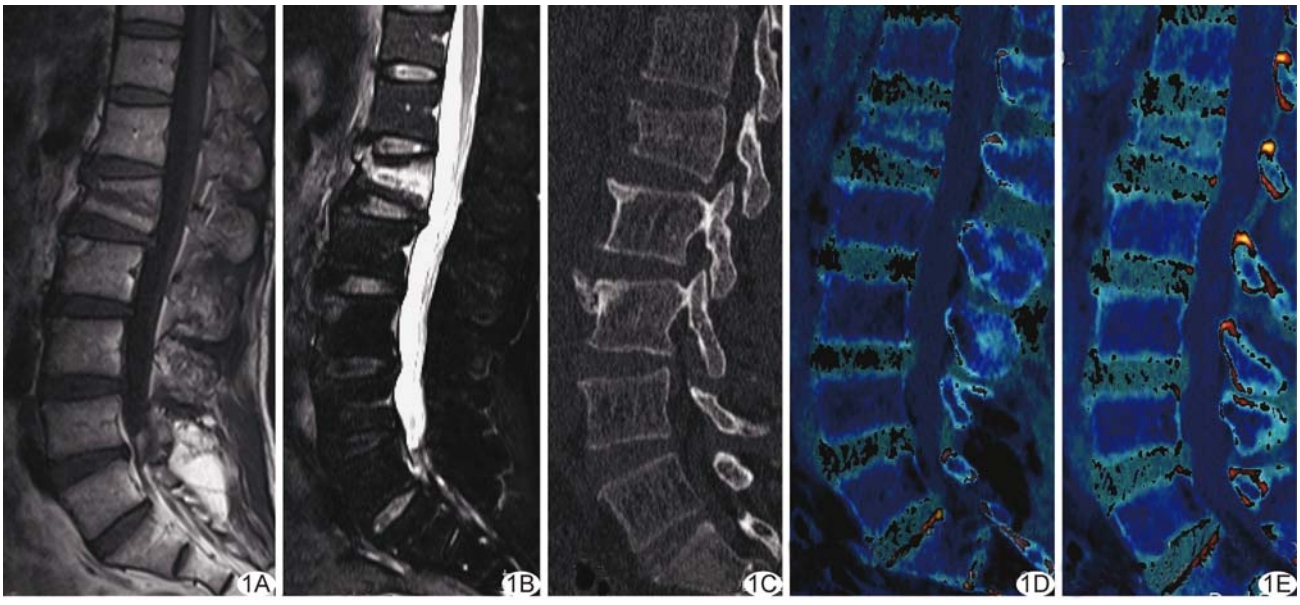


图 1　患者男，54 岁，L2 椎体压缩性骨折、骨髓水肿　A. MR T1WI 示 L2 椎体变扁，内见条片状低信号；B. MR 脂肪抑制 T2WI 示 L2 椎体内条片状高信号；C. CT 混合能量下腰椎矢状位骨窗重建图像示 L2 椎体压缩骨折，无法显示骨髓水肿；D. RCMR=1.75 时 VNCa 伪彩图示 L2 椎体密度增高，诊断 L2 椎体骨髓水肿；E. RCMR=1.85 时 VNCa 伪彩图示 L1、L2 椎体密度增高，诊断 L1、L2 椎体骨髓水肿

和脂肪含量。采用最优 RCMR 值(1.75)重建 DE-VNCa 图，结果发现骨髓水肿椎体的 CT 值明显高于正常椎体(t=13.14，P<0.01)，以 CT 值=10.25 HU 为临界值，诊断腰椎骨髓水肿的效能较高，AUC 为 0.95，与既往报道[2]的临界值比较接近，但低于黄伟等[5]报道的临界值(35 HU)，原因可能与后者的研究对象包括胸椎有关。同时，本研究发现腰椎骨髓水肿区脂肪含量低于正常椎体(t=9.83，P<0.01)，以脂肪含量=24.50%为临界值，诊断腰椎骨髓水肿的 AUC 为 0.91。当椎体骨折时，其内出现细胞水肿、渗出、出血等病理学改变，取代正常含脂质的骨髓成分，从而导致其区域 CT 值增高及脂肪含量减少，提示双能量 CT 定量测定 CT 值及脂肪含量的变化对腰椎骨髓水肿有一定诊断价值。

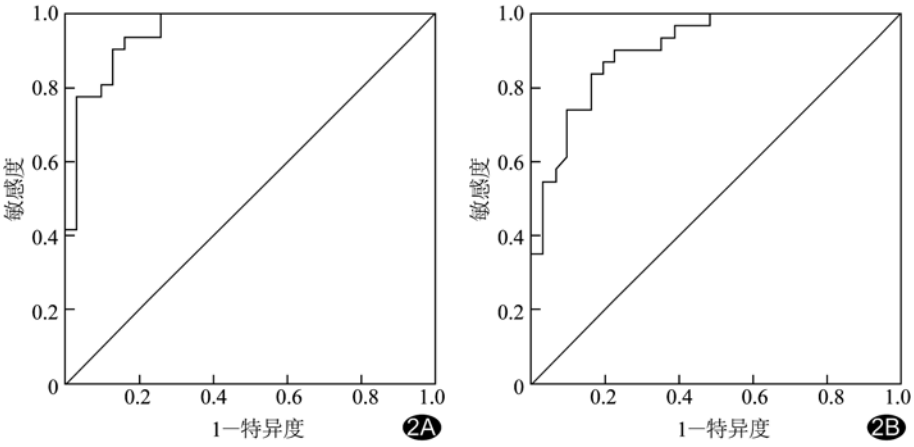


图 2　CT 值(A)和脂肪含量(B)诊断腰椎骨髓水肿的 ROC 曲线

本研究的局限性主要在于：①样本量有限，未能进行年龄段划分以及分析基础病变对骨髓水肿的影响；②因胸椎骨髓水肿椎体数量较少，未单独对其 CT 值及脂肪含量进行定量分析；③研究结果提示在椎体骨髓水肿中 RCMR 值采用 1.75 可获得较高的诊断效能，但是否适用于其他部位还需进一步探讨。

综上所述，采用双源 CT DE-VNCa 图诊断胸腰椎骨髓水肿时，推荐 RCMR 值采用 1.75；定量分析 CT 值及脂肪含量有助于诊断腰椎骨髓水肿。

[参考文献]

[1] 梁建超，方义杰，李文娟，等. 双能量 CT 虚拟去骨图不同对比物质相对比值对膝关节创伤性骨髓水肿的诊断价值. 中华放射学杂志，2018，52(1)：41-45.

[2] 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. Skeletal Radiol, 2014, 43(4): 485-492.

[3] Ali IT, Wong WD, Liang T, et al. Clinical utility of dual-energy CT analysis of bone marrow edema in acute wrist fractures. AJR Am J Roentgenol, 2018, 210(4): 842-847.

[4] Wang CK, Tsai JM, Chuang MT, et al. Bone marrow edema in vertebral compression fractures: Detection with dual-energy CT. Radiology, 2013, 269(2): 525-533.

[5] 黄伟，徐益明，卢道延，等. 双源 CT 去钙成像评价椎体骨髓水肿. 医学影像学杂志，2015，25(3)：386-389.

[6] Karaca L, Yuceler Z, Kantarci M, et al. The feasibility of dual-energy CT in differentiation of vertebral compression fractures. Br J Radiol, 2016, 89(1057): 20150300.

[7] Karantanas AH. Acute bone marrow edema of the hip: Role of MR imaging. Eur Radiol, 2007, 17(9): 2225-2236.

[8] Han IH, Chin DK, Kuh SU, et al. Magnetic resonance imaging findings of subsequent fractures after vertebroplasty. Neurosurgery, 2009, 64(4): 740-744.

[9] Johnson TR, Krauss R, Sedlmair M, et al. Material differentiation by dual energy CT: Initial experience. Eur Radiol, 2007, 17(6): 1510-1517.

[10] Yeh BM, Shepherd JA, Wang ZJ, et al. Dual-energy and low-KVp CT in the abdomen. AJR Am J Roentgenol, 2009, 193(1): 47-54.

[11] 陈谦，陈兴国，冯源，等. 调整空气距离与骨距离参数减少足部双能量 CT 痛风石成像指甲伪影. 中国医学影像技术，2016，32(6)：966-969.

[12] 李小虎，纵然，刘斌，等. 双能量能谱 CT 检测男性痛风患者足踝关节尿酸盐结晶沉积特点分析. 中国介入影像与治疗学，2016，13(12)：742-746.

[13] 丁倩芸，李小虎，刘斌，等. 双能量 CT 区分不同成分泌尿系结石. 中国介入影像与治疗学，2014，11(4)：252-255.

[14] 锁咏梅，宋贤亮，邱晓晖，等. 双能量 CT 与 MRI 诊断交叉韧带损伤的对照研究. 安徽医学，2016，37(5)：569-571.

[15] 刘卓，马婧，洪楠，等. 双能量 CT 联合金属伪影削减算法显示微弹簧圈定位肺结节. 中国医学影像技术，2018，34(2)：302-305.

[16] Pache G, Krauss B, Strohm P, et al. Dual-energy CT virtual noncalcium technique: Detecting posttraumatic bone marrow lesions-feasibility study. Radiology, 2010, 256(2): 617-624.

[17] Nicolaou S, Liang T, Murphy DT, et al. Dual-energy CT: A promising new technique for assessment of the musculoskeletal system. AJR Am J Roentgenol, 2012, 199(5 Suppl): S78-S86.

[18] Li X, Kuo D, Schafer AL, et al. Quantification of vertebral bone marrow fat content using 3 Tesla MR spectroscopy: Reproducibility, vertebral variation, and applications in osteoporosis. J Magn Reson Imaging, 2011, 33(4): 974-979.