·临床研究·

# 双能X线骨密度仪联合MRI评估OVCF患者骨折严重程度及预后的应用研究

殷玉锋[a*] 黄振刚[b] 张丽霞[a]

（酒泉市中医医院 a.放射科；b.骨伤二科，酒泉 735000）

**【摘要】 目的** 探讨双能X线骨密度仪联合磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)在评估骨质疏松性椎体压缩骨折(osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF)严重程度及预测患者功能预后中的应用价值。**方法** 纳入2023年12月至2025年7月于我院骨科住院治疗的OVCF患者70例。所有患者均接受双能X线骨密度仪及MRI检查，记录骨矿物质密度(bone mineral density, BMD)值、T值、椎体压缩率及骨髓水肿体积、信号强度比等影像学指标。依据Genant半定量法将患者分为轻度组、中度组和重度组。比较不同骨折严重程度患者的影像学指标及视觉模拟量表(visual analogue scale, VAS)评分、Oswestry功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)差异。采用*Pearson*分析评估影像学指标与VAS评分及ODI之间的相关性。根据治疗后6个月ODI改善率将患者分为预后良好组和预后不良组，采用多因素Logistic回归分析影响OVCF预后的独立危险因素，并通过受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线评估各指标及联合模型对预后不良的预测价值。**结果** 三组患者随着骨折严重程度增加，BMD值及T值逐渐降低，椎体压缩率、骨髓水肿体积、信号强度比以及入院VAS评分和ODI逐渐升高，差异均有统计学意义($P<0.05$)。*Pearson*相关性分析显示，BMD值与入院VAS评分、ODI均呈负相关($P<0.05$)；骨髓水肿体积与入院VAS评分、ODI均呈正相关($P<0.05$)。多因素Logistic回归分析显示，T值($OR=2.416$，95%$CI$：1.213～4.798)、椎体压缩率($OR=3.121$，95%$CI$：1.472～6.618)及骨髓水肿体积($OR=2.183$，95%$CI$：1.134～4.209)均为OVCF患者预后不良的独立危险因素($P<0.05$)。ROC曲线分析显示，T值、椎体压缩率及骨髓水肿体积预测OVCF预后不良的曲线下面积(area under curve, AUC)分别为0.763、0.781、0.752，而联合模型的AUC为0.892。**结论** T值、椎体压缩率及骨髓水肿体积与OVCF患者骨折严重程度及功能预后密切相关。双能X线骨密度仪联合MRI能够从骨量、椎体结构及骨髓反应等多维度综合评估OVCF，有助于预测患者预后情况，对指导临床个体化治疗具有重要价值。

**【关键词】** 骨质疏松性椎体压缩骨折；双能X线骨密度仪；磁共振成像；骨髓水肿；预后

**【中图分类号】** R683.2；R445.2 **【文献标识码】** A **【DOI】** 10.11876/mimt202603011

# Application of dual-energy X-ray absorptiometry combined with MRI in evaluating fracture severity and prognosis in patients with osteoporotic vertebral compression fractures

*Yin Yufeng[a*], Huang Zhengang[b], Zhang Lixia[a]*

*(a. Department of Radiology; b. Department of Orthopedics and TraumatologyII, Jiuquan TCM Hospital, Jiuquan 735000, China)*

**【Abstract】 Objective** To investigate the application value of dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) combined with magnetic resonance imaging (MRI) in evaluating the fracture severity and predicting the functional prognosis in patients with osteoporotic vertebral compression fracture (OVCF). **Methods** 70 patients with OVCF admitted to our hospital from December 2023 to July 2025 were included. All patients underwent DXA and MRI examinations, recording imaging parameters such as bone mineral density (BMD) values, T values, vertebral compression rate, bone marrow edema volume, and signal intensity ratio.

**收稿日期：**2026-03-19

**第一作者：**殷玉锋，男，本科，主治医师，研究方向：放射医学

According to the Genant semi quantitative method, the patients were divided into mild group, moderate group, and severe group. Compare the differences in imaging parameters, visual analogue scale (VAS) scores, and Oswestry disability index (ODI) among patients with different fracture severity. *Pearson* analysis was used to evaluate the correlation between imaging parameters, VAS scores, and ODI. According to the ODI improvement rate at 6 months after treatment, the patients were divided into good prognosis group and poor prognosis group. Multivariate logistic regression analysis was used to identify independent risk factors for poor prognosis. Receiver operating characteristic (ROC) curves were used to evaluate the predictive value of each indicator and combined model for poor prognosis. **Results** With the fracture severity increased, the BMD and T values gradually decreased, the vertebral compression rate, bone marrow edema volume, signal intensity ratio, VAS scores, and ODI gradually increased in the three groups, the differences were statistically significant ($P$ <0.05). *Pearson* correlation analysis showed that BMD values were negatively correlated with VAS scores and ODI ($P$<0.05), the bone marrow edema volume was positively correlated with VAS scores and ODI ($P$<0.05). Multivariate logistic regression analysis indicated that T values (*OR*=2.416, 95%*CI*: 1.213~4.798), vertebral compression ratio (*OR*=3.121, 95%*CI*: 1.472~6.618), and bone marrow edema volume (*OR*=2.183, 95%*CI*: 1.134~4.209) were independent risk factors for poor prognosis ($P$<0.05). ROC curve analysis showed that the area under curve (AUC) of T values, vertebral compression ratio, and bone marrow edema volume for predicting the poor prognosis were 0.763, 0.781, and 0.752, while the AUC of the combined model was 0.892. **Conclusion** T values, vertebral compression rate, and bone marrow edema volume are closely related to the fracture severity and functional prognosis in patients with OVCF. DXA combined with MRI can comprehensively evaluate OVCF from multiple dimensions such as bone mass, vertebral structure, and bone marrow response, which is helpful in predicting the prognosis, and has important value in guiding individualized clinical treatment.

**【Key words】** Osteoporotic vertebral compression fracture; Dual-energy X-ray absorptiometry; Magnetic resonance imaging; Bone marrow edema; Prognosis

骨质疏松性椎体压缩骨折（osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF）是骨质疏松症常见并发症，不仅导致患者腰背部剧烈疼痛，远期还可引发脊柱后凸畸形、心肺功能减退，影响患者生活质量并增加病死率[1]。精准评估OVCF的严重程度并预测其预后，是制定合理治疗策略的关键前提。X线平片是筛查和诊断OVCF的常用方法，但对轻微骨折及陈旧性骨折的鉴别能力有限，计算机断层扫描（computed tomography, CT）虽可清晰显示骨折形态，但无法评估骨髓内病理状态及骨折新鲜程度[2]。双能X线骨密度仪可通过测量骨矿物质密度（bone mineral density, BMD）值和T值，反映骨量丢失程度，是公认的骨质疏松症诊断金标准，但该方式仅能提供二维骨量信息，无法显示椎体形态学改变[3]。磁共振成像（magnetic resonance imaging, MRI）具有良好的软组织分辨率，其脂肪抑制序列可敏感显示骨折后骨髓水肿，还能清晰观察椎体后缘、神经根受压情况，但无法定量评估BMD值[4]。由此可知，双能X线骨密度仪和MRI能够分别从骨量和形态两个维度评估OVCF，具有明显的互补性，但是，目前临床实践中二者多被独立应用，缺乏系统性的联合研究，尤其在预测患者功能预后方面的探索尚不充分。基于此，本研究通过分析OVCF患者的双能X线骨密度仪与MRI影像学资料，探讨其在OVCF疾病严重程度评估与预后预测中的应用价值。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究对象

选取2023年12月至2025年7月于我院骨科就诊并住院治疗的70例OVCF患者作为研究对象。纳入标准：①符合骨质疏松症[5]的诊断标准，即基于双能X线骨密度仪检测腰椎或股骨颈T值≤-2.5；②具有明确腰背部急性疼痛病史，病程≤2周，并经MRI证实为单节段新鲜椎体压缩骨折；③患者均同意接受规范化治疗并自愿参与全程随访；④临床及影像学资料完整。排除标准：①由恶性肿瘤转移、多发性骨髓瘤、感染等引起的病理性骨折；②严重外伤如高处坠落、车祸引起的高能量损伤性骨折；③合并严重脊柱畸形，

既往有脊柱手术史者；④多节段椎体骨折患者。本研究方案经医院伦理委员会审核批准（批件号：JZYMEC–02023–050–005）。

### 1.2 临床资料收集

收集的临床资料包括年龄、性别、体质指数、骨折节段。采用视觉模拟量表（visual analogue scale, VAS）[6]评估患者入院时及治疗后3个月的疼痛程度，该量表为0～10分线性评分。采用Oswestry功能障碍指数（Oswestry disability index, ODI）[7]评估患者入院时及治疗后6个月的功能障碍程度，ODI涵盖疼痛强度、生活自理等10个方面的问题，每个问题6个选项，最高得分5分，选择第一个选项得分0分，选择最后一个选项得分5分，总分范围0~50分，通过计算公式转换为百分比：$\mathrm{ODI}=\frac{\text{实际得分}}{5\times\text{回答问题数}}\times100\%$，百分比越高表示功能障碍越严重。采用以下公式计算治疗后6个月的ODI改善率：$\text{ODI改善率}=\frac{\text{治疗前ODI}-\text{治疗后6个月ODI}}{50-\text{治疗前ODI}}\times100\%$。将ODI改善率<50%定义为预后不良。

### 1.3 双能X线骨密度仪检测

采用美国GE Prodigy型双能X线骨密度仪，检测前所有患者均去除金属物品，取仰卧位，双腿抬高置于专用泡沫垫上。测量部位包括腰椎$L_1$～$L_4$正位及左侧股骨颈。记录各部位BMD值及T值。

### 1.4 MRI检查

采用德国Siemens Magnetom Mica 1.5T超导型磁共振扫描仪，配备脊柱表面线圈，患者取仰卧位，头先进，定位中心位于剑突水平。扫描序列包括：矢状位T1加权成像快速自旋回波序列，重复时间550 ms，回波时间10 ms；矢状位T2加权成像快速自旋回波序列，重复时间3 000 ms，回波时间100 ms；矢状位短时反转恢复序列，重复时间4 000 ms，回波时间70 ms，反转时间150 ms。所有序列扫描层厚均为4 mm，层间距0.4 mm，视野300 mm × 300 mm，矩阵320 × 256。同时采集横轴位T2加权成像图像以观察椎体后缘及椎管情况。

### 1.5 影像学指标测量与分析

所有影像学图像由两名高年资放射科医师在不知晓患者临床数据的情况下独立阅片和测量。骨折严重程度分级评估依据Genant半定量法[8]在T1加权成像矢状位图像上进行，根据椎体高度丢失程度将患者分为轻度组、中度组和重度组。椎体压缩率测量在正中矢状面T1加权成像图像上进行，分别测量骨折椎体前缘高度、中间高度及后缘高度。椎体压缩率计算公式为：$\text{椎体压缩率}=1-\frac{\text{前缘高度}+\text{中间高度}}{2\times\text{后缘高度}}\times100\%$。取前缘和中间压缩的较大值作为最终压缩率。骨髓水肿评估采用定量方法，在短时反转恢复序列图像上，通过影像后处理工作站进行处理，沿骨髓水肿高信号区域边界逐层手动勾画感兴趣区（region of interest, ROI），由软件自动计算总体积。同时在短时反转恢复序列图像上分别于骨折椎体水肿最明显区域和相邻正常椎体中央放置圆形ROI，测量信号强度值。两名医师独立手动勾画骨髓水肿ROI后，使用组内相关系数（intraclass correlation coefficient, ICC）来评估测量的一致性，结果为ICC = 0.92（95% *CI*: 0.88~0.95），说明具备良好的一致性。

### 1.6 治疗方案与随访

患者入院后制定治疗方案。药物治疗包括根据疼痛程度使用非甾体抗炎药或弱阿片类药物镇痛；手术治疗采用经皮椎体成形术或经皮椎体后凸成形术，均在局部麻醉下由同一组脊柱外科医师完成。所有患者均接受规范化抗骨质疏松治疗。分别于治疗后3个月门诊随访评估VAS评分，治疗后6个月门诊随访评估ODI。

### 1.7 统计学方法

采用SPSS 26.0软件进行数据统计分析，计量资料以均值 ± 标准差（$\bar{x}\pm s$）表示，三组间计量资料比较采用单因素方差分析，两两比较采用LSD–*t*检验；计数资料以频数（*n*）和百分比（%）表示，组间比较采用$\chi^2$检验。相关性分析采用*Pearson*分析。采用多因素Logistic回归分析影响OVCF预后的独立危险因素；采用受试者工作特征（receiver operating characteristic, ROC）曲线评估模型的预测效能，计算曲线下面积（area under curve, AUC），并采用DeLong检验比较不同模型AUC的差异。以$P<0.05$为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 不同骨折严重程度患者基线资料及影像学指标比较

按照骨折严重程度将患者划分为轻度组（22例）、中度组（28例）和重度组（20例），三组患者随着骨折严重程度增加，BMD值及T值逐渐降低，椎体压缩率、骨髓水肿体积、信号强度比以及入院VAS评分和ODI逐渐升高，差异均有统计学意义（$P<0.05$）。见表1。

**表1** 不同骨折严重程度患者基线资料及影像学指标比较

| 项目 | 轻度组（$n$=22） | 中度组（$n$=28） | 重度组（$n$=20） | $F/\chi^2$值 | $P$值 |
|---|---|---|---|---|---|
| 年龄（岁，$\bar{x}\pm s$） | 71.52 ± 7.21 | 72.83 ± 8.14 | 74.08 ± 8.37 | 0.872[a] | 0.430 |
| 性别［$n$（%）］ | | | | | |
| 男 | 7（31.82） | 10（35.71） | 4（20.00） | 1.346[b] | 0.510 |
| 女 | 15（68.18） | 18（64.29） | 16（80.00） | | |
| 体质指数（kg/m$^2$，$\bar{x}\pm s$） | 22.84 ± 3.35 | 23.47 ± 3.28 | 22.75 ± 3.15 | 0.361[a] | 0.699 |
| 骨折节段［$n$（%）］ | | | | | |
| 胸腰段 | 19（86.36） | 25（89.29） | 17（85.00） | 0.328[b] | 0.850 |
| 其他 | 3（13.64） | 3（10.71） | 3（15.00） | | |
| BMD值（g/cm$^2$，$\bar{x}\pm s$） | 0.86 ± 0.11 | 0.74 ± 0.10 | 0.65 ± 0.08 | 28.142[a] | <0.001 |
| T值（$\bar{x}\pm s$） | −2.12 ± 0.51 | −2.63 ± 0.58 | −3.19 ± 0.72 | 19.374[a] | <0.001 |
| 椎体压缩率（%，$\bar{x}\pm s$） | 23.58 ± 4.23 | 34.76 ± 5.31 | 48.29 ± 6.42 | 112.453[a] | <0.001 |
| 骨髓水肿体积（cm$^3$，$\bar{x}\pm s$） | 6.23 ± 1.82 | 9.71 ± 2.18 | 13.54 ± 2.76 | 57.682[a] | <0.001 |
| 信号强度比（$\bar{x}\pm s$） | 2.08 ± 0.41 | 2.83 ± 0.52 | 3.62 ± 0.69 | 41.263[a] | <0.001 |
| 入院VAS评分（分，$\bar{x}\pm s$） | 6.03 ± 1.12 | 7.08 ± 1.21 | 7.92 ± 1.33 | 13.245[a] | <0.001 |
| 入院ODI（%，$\bar{x}\pm s$） | 46.18 ± 6.42 | 52.53 ± 6.98 | 60.12 ± 8.07 | 19.581[a] | <0.001 |

注：[a]为$F$值；[b]为$\chi^2$值；BMD为骨矿物质密度；VAS为视觉模拟评分法；ODI为Oswestry功能障碍指数。

### 2.2 影像学指标与临床指标的相关性分析

*Pearson*相关性分析显示，BMD值、T值与入院VAS评分均呈负相关（$P<0.05$），骨髓水肿体积、信号强度比与入院VAS评分均呈正相关（$P<0.05$）；BMD值与入院ODI呈负相关（$P<0.05$），椎体压缩率、骨髓水肿体积与入院ODI均呈正相关（$P<0.05$）。见表2。

**表2** 影像学指标与临床指标的相关性分析

| 影像学指标 | 入院VAS评分 | | 入院ODI | |
|---|---|---|---|---|
| | 相关系数 | $P$值 | 相关系数 | $P$值 |
| BMD值 | −0.482 | 0.023 | −0.471 | 0.031 |
| T值 | −0.401 | 0.038 | −0.288 | 0.156 |
| 椎体压缩率 | 0.357 | 0.082 | 0.513 | 0.008 |
| 骨髓水肿体积 | 0.651 | <0.001 | 0.512 | 0.015 |
| 信号强度比 | 0.438 | 0.021 | 0.326 | 0.112 |

注：VAS为视觉模拟评分法；ODI为Oswestry功能障碍指数；BMD为骨矿物质密度。

### 2.3 多因素Logistic回归分析

根据ODI改善率将患者分为预后良好组（52例）和预后不良组（18例）。将OVCF患者预后情况作为因变量（预后不良为“1”，预后良好为“0”），将上述具有统计学意义的指标纳入多因素Logistic回归分析，结果显示，T值、椎体压缩率及骨髓水肿体积均是OVCF患者预后不良的独立危险因素（$P<0.05$）。见表3。根据Logistic回归系数构建联合诊断模型如下：*Logit*（P）= 3.512 + 0.882 × T值 + 1.138 × 椎体压缩率 + 0.783 × 骨髓水肿体积。

**表3** OVCF患者预后的多因素Logistic回归分析

| 影响因素 | $\beta$ | $SE$ | Wald $\chi^2$值 | $P$值 | $OR$值 | 95%$CI$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 常量 | 3.512 | 1.121 | 9.823 | <0.001 | — | — |
| T值 | 0.882 | 0.351 | 6.324 | 0.012 | 2.416 | 1.213 ~ 4.798 |
| 椎体压缩率 | 1.138 | 0.382 | 9.003 | 0.003 | 3.121 | 1.472 ~ 6.618 |
| 骨髓水肿体积 | 0.783 | 0.332 | 5.581 | 0.020 | 2.183 | 1.134 ~ 4.209 |

注：OVCF为骨质疏松性椎体压缩骨折。

### 2.4 双能X线骨密度仪与MRI单独及联合应用对OVCF预后不良的预测价值

将OVCF患者预后情况作为因变量（预后不良为“1”，预后良好为“0”），绘制各影像学指标

及联合模型的ROC曲线，结果显示，T值、椎体压缩率、骨髓水肿体积预测OVCF预后不良的AUC分别为0.763、0.781、0.752，均有一定预测价值，而联合模型的AUC为0.892，预测价值最高。见表4和图1。

**表4** 各影像学指标单独及联合预测OVCF预后不良的诊断效能评估

| 项目 | AUC | 95% *CI* | 最佳阈值 | *P*值 | 敏感度（%） | 特异度（%） | 准确度（%） | 约登指数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T值 | 0.763 | 0.652~0.874 | −2.92 | 0.012 | 77.83 | 69.24 | 71.45 | 47.07 |
| 椎体压缩率 | 0.781 | 0.677~0.885 | 38.52 | 0.008 | 76.52 | 71.38 | 72.70 | 47.90 |
| 骨髓水肿体积 | 0.752 | 0.638~0.866 | 10.21 | 0.016 | 74.26 | 70.15 | 71.21 | 44.41 |
| 联合模型 | 0.892 | 0.812~0.972 | — | <0.001 | 83.35 | 86.48 | 85.68 | 69.83 |

注：OVCF为骨质疏松性椎体压缩骨折；AUC为曲线下面积。

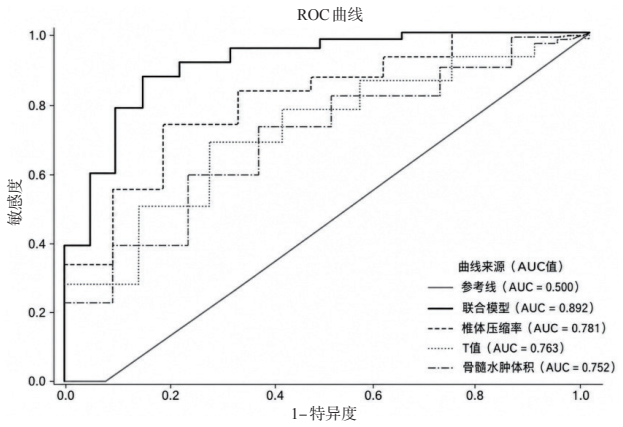



**图1** 各影像学指标单独及联合预测OVCF预后不良的ROC曲线

注：OVCF为骨质疏松性椎体压缩骨折；ROC为受试者工作特征。

## 3 讨论

OVCF是老年骨质疏松患者最常见的脊柱损伤类型，其临床表现及预后具有明显的个体差异，如何在疾病早期对骨折严重程度及功能恢复趋势进行准确评估，是制定个体化治疗方案的重要依据[9]。既往临床多依赖单一影像学方法评估OVCF，但不同影像技术反映的病理信息存在局限，双能X线骨密度仪主要反映骨量状态，而MRI虽能够显示骨髓水肿及椎体结构损伤，但无法定量评价骨质量[10]。

本研究结果显示，随着骨折严重程度的增加，患者BMD值及T值逐渐降低，椎体压缩率和骨髓水肿体积逐渐增加，VAS评分及ODI亦呈递增趋势，提示骨量丢失、结构损伤及骨髓炎性反应共同参与OVCF的发生和发展。*Pearson*相关性分析显示，BMD值与VAS评分、ODI呈负相关，与既往研究[11]报道基本一致。说明骨质疏松程度越严重，椎体微结构破坏越明显，骨折后应力集中程度越高，更易出现明显的椎体压缩及疼痛症状，BMD值及T值是反映骨质疏松程度的核心指标，也是影响骨折发生及修复的重要因素[12]。同时，骨量减少不仅降低骨骼的力学强度，还影响骨折愈合过程中骨痂形成与骨重塑过程。多因素Logistic回归分析显示，T值是OVCF患者预后不良的独立危险因素。分析认为，骨质疏松状态下骨小梁结构破坏，骨折后局部稳定性较差，同时成骨细胞活性降低、骨基质形成减少，从而影响骨折愈合质量并增加再骨折风险[13]。因此，对于骨密度明显降低的患者，在治疗骨折的同时应积极开展抗骨质疏松治疗，以改善骨质量并降低远期复发风险。椎体压缩率是评价椎体形态学改变的重要指标，也是反映脊柱稳定性的关键参数。本研究中，椎体压缩率与ODI呈正相关，且多因素分析中椎体压缩率是OVCF患者预后不良的独立危险因素。椎体高度丢失可导致脊柱前柱支撑能力下降，改变脊柱正常生物力学结构，进而引起脊柱后凸畸形及慢性腰背痛。压缩程度越严重，脊柱稳定性越差，患者远期功能恢复亦相对较差[14]。因此，在临床评估OVCF患者时，应重视椎体压缩程度的影像学评价，对于压缩较重者需早期干预以恢复椎体高度并改善脊柱力线。骨髓水肿体积与VAS评分、ODI均呈正相关，且多因素分析显示骨髓水肿体积是OVCF患者预后不良的独立危险因素。骨髓水肿反映了骨折后骨髓内出血、炎性渗出及局部组织损伤程度，其范围越大，提示骨折损伤越严重，局部炎症反应越明显，并且炎性介质释放可刺激痛觉神经末梢，引起明显疼痛，并可能延缓骨折修复过程[15]。进一步的ROC曲线分析显示，T值、椎体压缩率及骨髓水肿体积对OVCF预后

不良均具有一定预测价值，而三者联合模型的AUC最高，提示三者联合评估能够整合骨量、结构及炎症反应等多维信息，从而更全面地反映OVCF的病理状态。双能X线骨密度仪主要提供骨质量信息，MRI则能够评价椎体形态学损伤及骨髓反应，两种影像学方法具有明显互补性。

然而，本研究仍存在一定局限性。首先，本研究为单中心研究，样本量有限，预后不良组样本量仅18例，3个自变量的每变量事件数（events per variable, EPV）为6，可能存在过拟合风险，回归结果稳健性需谨慎解释。未来研究应扩大样本量以验证模型稳定性。其次，本研究相关性分析涉及多次比较，未进行多重比较校正。考虑Bonferroni校正后，骨髓水肿体积与VAS评分相关性（$P<0.001$）仍显著，而椎体压缩率与ODI相关性（$P=0.008$）可能不显著。研究结论对核心指标稳健，但对部分边缘指标需谨慎解释。第三，本研究采用的ODI改善率计算公式与治疗前ODI相关，可能导致重度组患者因术前ODI高而在计算中获得较大改善率，从而出现潜在的反向归类现象。实际数据分析显示，部分重度组患者确实在预后良好组中出现归类偏差。因此，ODI改善率定义对多因素回归分析结论存在一定影响，后续研究可考虑使用绝对改善值或调整公式以减少该混杂。

综上所述，双能X线骨密度仪联合MRI能够从骨量、结构及骨髓反应等多个维度对OVCF进行综合评估，对患者预后不良的预测价值较高，有助于早期识别高风险患者，为制定个体化治疗策略提供可靠依据。

**利益冲突：**作者声明没有利益冲突。

## [ 参 考 文 献 ]


[1] Cho C H, Hwang S W, Mazanec D J, et al. Guideline summary review: an evidence–based clinical guideline for the diagnosis and treatment of adults with osteoporotic vertebral compression fractures [J]. The Spine Journal, 2025, 25(8): 1670–1687.

[2] 韩康恩, 王洪伟, 顾洪闻, 等. 人工智能影像组学辅助X射线诊断腰椎骨质疏松性椎体压缩性骨折的效能 [J]. 局解手术学杂志, 2024, 33(7): 579–583.

[3] 董家科, 邓敏, 王禄马, 等. 双能X线骨密度扫描诊断早期偏侧性帕金森病的临床价值 [J]. 中国医刊, 2023, 58(3): 324–327.

[4] 李翰林, 陈程, 陈亮, 等. 回形针体表定位联合CT测量在骨质疏松性椎体压缩性骨折经皮椎体后凸成形术个体化穿刺中的应用 [J]. 中国中医急症, 2023, 32(11): 1944–1948.

[5] 中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会. 原发性骨质疏松症诊疗指南（2017）[J]. 中华内分泌代谢杂志, 2017, 33(10): 890–913.

[6] 万丽, 赵晴, 陈军, 等. 疼痛评估量表应用的中国专家共识（2020版）[J]. 中华疼痛学杂志, 2020, 16(3): 177–187.

[7] 钱晋宇, 刘光明, 杨佳裕, 等. 腰椎间盘突出症患者应用施氏伤科导引治疗效果及对Oswestry功能障碍指数和肌力水平的影响 [J]. 山西医药杂志, 2022, 51(24): 2812–2814.

[8] 于孔信, 赵慧娟, 武丽霞, 等. X线摄影检查Genant半定量法和定量法在腰椎压缩性骨折诊断中的应用 [J]. 医学影像学杂志, 2025, 35(5): 132–136.

[9] Chen B, He J, Tang J, et al. Prevalence and risk factors for residual back pain after percutaneous vertebral augmentation in osteoporotic vertebral compression fracture patients: a systematic review and meta–analysis [J]. BMC Musculoskeletal Disorders, 2025, 26: 541.

[10] 石晶, 周翔, 杨荣智, 等. 经皮弯角椎体成形术治疗单发椎体骨质疏松性椎体压缩骨折的效果及安全性研究 [J]. 海南医学, 2024, 35(1): 71–75.

[11] 王喆人, 喻任, 陆纯德, 等. 脊神经后内侧支阻滞治疗骨质疏松椎体压缩骨折经皮椎体增强术后持续疼痛 [J]. 中国骨伤, 2025, 38(11): 1145–1150.

[12] 陈惠挺, 曾伟权, 周剑鸿, 等. 椎体成形中拖尾锚定治疗伴裂隙征骨质疏松性椎体压缩骨折的有限元分析 [J]. 中国组织工程研究, 2026, 30(9): 2145–2152.

[13] 李海艳, 韩明雨, 王子瑜, 等. 股骨上端张力性骨小梁的形态学再观察及临床意义 [J]. 中国临床解剖学杂志, 2026, 44(1): 16–22.

[14] Huang W, Nagao M, Yonemoto N, et al. Evaluation of the efficacy and safety of romosozumab (evenity) for the treatment of osteoporotic vertebral compression fracture in postmenopausal women: a systematic review and meta–analysis of randomized controlled trials (CDM–J) [J]. Pharmacoepidemiol Drug Saf, 2023, 32(6): 671–684.

[15] 吴维, 黄杨, 王晓铃, 等. 构建并验证预测骨质疏松性椎体压缩骨折骨水泥手术术后功能的列线图模型 [J]. 中国康复, 2023, 38(4): 226–231.