

论 著

基于MRI椎体骨质量评分和CT骨微结构分析骨质疏松症患者腰椎手术骨质量的研究*

王树纯 张春海 李少轩
潘东续 高俊萍 周建昌*
河北北方学院附属第二医院影像科
(河北 张家口 075100)

【摘要】目的 本研究旨在评估基于MRI椎体骨质量评分和CT骨微结构分析骨质疏松症患者腰椎手术骨质量，以期临床诊治提供参考。方法 在腰椎进行定量计算机断层扫描(QCT)测量，并使用L1/L2平均值将vBMD $\leq$ 120mg/cm³的患者分类为骨量减少/骨质疏松。采用矢状位T1加权磁共振扫描，将L1-L4椎体的平均信号强度除以脑脊液的信号强度，得出VBQ评分。术中取自髂后上棘的骨活检，并用MCT进行评估。比较正常组和骨量减少/骨质疏松组的VBQ评分和MCT参数。采用Spearman相关(R)分析VBQ评分、MCT参数与vBMD的相关性。ROC分析确定VBQ评分作为骨量减少/骨质疏松的预测因子。使用以vBMD L1/L2为结果的多元线性回归分析，从VBQ、MCT参数和人口统计学中识别独立预测因素。结果 267例患者骨量减少/骨质疏松患病率为65.2%。VBQ评分与vBMD($r=-0.300$; $P<0.01$)、骨小梁BV/TV($r=-0.314$; $P<0.01$)、Tb.N($r=-0.326$; $P<0.01$)呈显著负相关，并与Tb.Sp呈正相关($r=0.349$; $P<0.01$)。VBQ评分预测骨量减少/骨质疏松症的预后准确性显示AUC值为0.670。多元线性回归分析显示，年龄($b=-0.400$; $P=0.003$)、骨小梁体积分数(bv/tv)($b=0.420$; $P=0.012$)和骨小梁厚度(Tb.Th)($b=-0.234$; $P=0.048$)可预测体积骨密度。结论 VBQ评分与MCT确定的骨小梁微结构有关，VBMD受损患者的骨显微结构和VBQ评分有显著差异。然而，用VBQ评分预测骨量减少/骨质疏松的能力是中等的。VBQ评分反映了额外的骨质量特征，并可能对vBMD具有补充作用。

【关键词】骨微结构；骨量减少；
脊柱融合；体积骨密度

【中图分类号】R681.5

【文献标识码】A

【基金项目】河北省卫生健康委科研
基金项目(20231469)；
张家口市重点研发计划(2221159D)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.12.051

Study on Bone Quality Analysis of Lumbar Fusion Surgery in Patients with Osteoporosis Based on MRI Vertebral Bone Quality Score and CT Bone Microstructures*

WANG Shu-chun, ZHANG Chun-hai, LI Shao-xuan, PAN Dong-xu, GAO Jun-ping,
ZHOU Jian-chang*.

Department of Imaging, The Second Affiliated Hospital of Hebei North University, Zhangjiakou
075100, Hebei Province, China

ABSTRACT

Objective This study aims to evaluate the bone quality of lumbar fusion surgery in patients with osteoporosis based on MRI vertebral body bone quality score and CT bone microstructure analysis, in order to provide reference for clinical diagnosis and treatment. **Methods** Quantitative computed tomography (QCT) measurements were performed on the lumbar spine, and patients with vBMD $\leq$ 120 mg/cm³ were classified as osteopenia/osteoporosis using L1/L2 mean values. Using sagittal T1 weighted magnetic resonance imaging, the average signal intensity of the L1-L4 vertebral body was divided by the signal intensity of the cerebrospinal fluid to obtain the VBQ score. Bone biopsy taken from the posterior superior iliac spine during surgery and evaluated using MCT. Compare the VBQ scores and MCT parameters between the normal group and the bone loss/osteoporosis group. Spearman correlation (R) was used to analyze the correlation between VBQ score, MCT parameters, and vBMD. ROC analysis identified VBQ score as a predictive factor for bone loss/osteoporosis. Multiple linear regression analysis with vBMD L1/L2 as the result was used to identify independent predictors from VBQ, MCT parameters and Demographics. **Results** Osteopenia/osteoporosis prevalence in 267 patients It was 65.2 per cent. VBQ score and vBMD score ($r=-0.300$; $P<0.01$), bone trabecula BV/TV($r=-0.314$; $P<0.01$), Tb.N($r=-0.326$; $P<0.01$) had a significant negative correlation, and a positive correlation with Tb.Sp ($r=0.349$; $P<0.01$). The accuracy of VBQ score in predicting the prognosis of osteopenia/osteoporosis showed an AUC value of 0.670. Multiple linear regression analysis showed that age ($b=-0.400$; $P=0.003$), bone trabecular volume fraction (bv/tv)($b=0.420$; $P=0.012$) and trabecular thickness (Tb.Th)($b=-0.234$; $P=0.048$) predictable volumetric bone density. **Conclusion** The VBQ score is related to the bone trabecular microstructure determined by MCT, and there is a significant difference between the bone microstructure and VBQ score in patients with VBMD damage. However, the ability to predict bone loss/osteoporosis using the VBQ score is moderate. The VBQ score reflects additional bone quality characteristics and may have a complementary effect on vBMD.

Keywords: Bone Microstructure; Reduced Bone Mass; Spinal Fusion; Volume Bone Density

骨质疏松和骨量减少是脊柱融合术中破坏性并发症的已知危险因素。据报道，骨强度受损与近端交界处后凸畸形、内固定失败、相邻节段骨折、椎弓根和压缩骨折、假关节和椎间融合器下沉有关^[1]。因此，在择期脊柱手术中，准确的术前骨骼评估是优化手术结果和降低并发症风险的关键^[2]。骨强度通常通过双能X射线吸收法(DEXA)得出的面骨密度(ABMD)作为替代标记物来评估。由于DXA扫描更容易受到混杂因素的影响，评估体积骨矿密度(VBMD)的定量计算机断层扫描(QCT)可能是评估骨强度的首选方法，尤其是在腰椎^[3]。然而，vBMD是一个定量参数，仅代表骨强度的一个维度，骨强度由骨量和骨质组成^[4]。

骨密度测量没有捕捉到定性元素，如三维微结构，包括皮质厚度和孔隙度、皮质和松质骨的分布、小梁的数量、连通性和方向^[5]。到目前为止，评估骨的质量维度的金标准是用微计算机断层扫描(MCT)评估侵入性骨活检的三维骨形态。这限制了骨质量评估在临床实践中的可用性^[6]。因此，需要一种非侵入性和更广泛可用的筛查工具来评估骨密度以外的骨的质量维度。最近，一种新的基于磁共振成像(MRI)的椎体骨质量(VBQ)评分被引入来评估骨小梁质量^[7]。研究表明^[8]，VBQ评分与DXA衍生的股骨颈骨密度相关，与翻修次数增加有关腰椎手术的风险，并可预测椎体受压和脆性骨折。然而，目前尚不清楚VBQ是否与体内骨微观结构或骨强度的其他维度相关。因而，本研究旨在评估基于MRI椎体骨质量评分和CT骨微结构分析骨质疏松症患者腰椎手术骨质量，以期临床诊治提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究资料 回顾性分析本院于2020年6月至2023年6月期间接受腰椎手术治疗退行性脊柱疾病的267例患者的临床资料，该研究得到了医院伦理审查委员会的批准(2020025)，研究依据《赫尔辛基宣言》进行。

纳入标准：择期后路腰椎融合术；年龄18岁以上；术前有腰椎MRI和CT扫描。排

【第一作者】王树纯，男，主治医师，主要研究方向：影像诊断。E-mail: tokyo357@126.com

【通讯作者】周建昌，男，副主任医师，主要研究方向：医学影像。E-mail: chenyanjun92@yeah.net

除标准：L1和L2的QCT测量水平既往腰椎手术；具有液体衰减反转恢复、反转恢复或增强后图像VBQ不相容MRI扫描。267例者女性55.8%，男性44.2%，平均年龄(63.3±12.2)岁，平均体重指数(29.7±6.2)kg/m²，骨量减少/骨质疏松发生率为65.2%(174/267)。骨量减少/骨质疏松组的年龄显著高于正常vBMD组(67.1岁对57.8岁， $P<0.001$)，vBMD值明显小于正常组(89.8mg/cm³ vs. 148.7 mg/cm³， $P<0.001$)，VBQ评分显著高于骨密度正常组(3.04比2.57； $P<0.001$)。

1.2 研究方法

1.2.1 由定量计算机断层扫描推算体积骨密度^[5] 根据国际临床密度学学会(ISCN)的官方指南，使用QCT调查L1和L2水平。在L1和L2椎体的轴位、冠位和矢状位CT图像上放置椭圆形ROI。CT扫描采用120KVP。由QCT Pro软件自动分配所选能量水平的校准代表，以将Hounsfield单位映射到骨密度单位。这项技术类似于之前验证和应用的异步QCT。ISCN规定，如果CT扫描仪的稳定性得到保证，可以使用异步校准来代替同步体模校准。骨小梁vBMD测量方法，将vBMD≤120mg/cm³的患者归类为骨质疏松/骨质疏松患者，>120mg/cm³为正常患者。

1.2.2 T1加权MRI的椎体骨质量及评分计算^[9] 使用图片存档和通信系统(PACS)(版本23.1，瑞典)进行VBQ测量。使用了L1—L4椎体髓质部分和L3水平脑脊液中矢状面T1加权MR图像的信号强度，排除椎体ROI中的局灶性病变和后静脉丛，并使用矢状面旁图像。脑脊液ROI选择在L3后不受神经根影响的区域。在由于椎管狭窄而无法选择ROI的情况下，可利用相邻节段低于或高于该节段。

1.2.3 计算机断层扫描(CT)对骨微结构的分析^[9] CT扫描体素大小为10 mm，能量为55KVp，使用145 mA，每视图积分时间为400ms进行MCT扫描。MCT扫描是在75%乙醇溶液中进行的。用Sanco MCT软件进行三维重建和图像观察。3D重建后，体积被衰减，全局阈值为280，以区分灰度值和骨骼。ROI由连续重建的松质骨区和皮质骨区的体积切片上各自的轮廓定义。皮质MCT参数为：总体积(TV)、骨体积(BV)、骨体积分数(BV/TV)和表观密度

(AD)。骨小梁MCT参数包括：总体积(TV)、骨体积(BV)、骨体积分数(BV/TV)、连接密度(Conn.D)、结构模型指数(SMI)、骨小梁数量(Tb.N)、骨小梁厚度(Tb.Th)、骨小梁间距(Tb.Sp)、比骨表面积(BS/BV)和表观密度(AD)。

1.3 统计学方法 所有数据分析用SPSS 26.0软件进行， P 值<0.05被认为具有统计学意义。用Shapiro-Wilk检验连续变量的正态分布。根据连续变量的分布，对其平均值和标准差，或中位数和IQR进行汇总。比较两组之间的差异(骨量减少/骨质疏松与正常vBMD)，连续变量采用Mann-Whitney U检验，离散变量采用卡方检验(χ^2)。用单因素方差分析(协方差分析)来确定控制协变量年龄的两组(骨质疏松/骨质疏松与正常vsBMD)之间的差异。计算Spearman等级相关系数，以检验VBQ评分与vBMD、VBQ评分与MCT参数、vBMD与MCT参数之间的关系。ROC分析确定VBQ评分的曲线下面积(AUC)以预测骨量减少/骨质疏松的存在，并用Youden指数确定截断值。以vBMD L1/L2为因变量，年龄、性别、BMI、VBQ、骨小梁BV/TV、Tb.N、Tb.Th为自变量。

2 结果

2.1 VBQ评分测量示意图 具体如图1所示，将L1CSFL4信号强度的中位数除以在L3的信号强度，计算VBQ评分。评估没有液体衰减反转恢复和非增强后图像的T1加权图像，以避免信号强度的改变。

2.2 用椎骨质量评分预测骨量减少/骨质疏松 VBQ评分与vBMD($r=-0.300$ ； $P<0.01$)、骨小梁BV/TV($r=-0.314$ ； $P<0.01$)、Tb.N($r=-0.326$ ； $P<0.01$)呈显著负相关，并与Tb.Sp呈正相关($r=0.349$ ； $P<0.01$)。具体如图2所示，根据ROC分析，VBQ评分预测骨量减少/骨质疏松症的预后准确性显示AUC值为0.670。当VBQ阈值为2.18时，ROC分析对骨量减少/骨质疏松的诊断灵敏度为84.7%，特异度为40.6%。多元线性回归分析显示，年龄($b=-0.400$ ； $P=0.003$)、骨小梁体积分数(bv/tv)($b=0.420$ ； $P=0.012$)和骨小梁厚度(Tb.Th)($b=-0.234$ ； $P=0.048$)可预测体积骨密度。

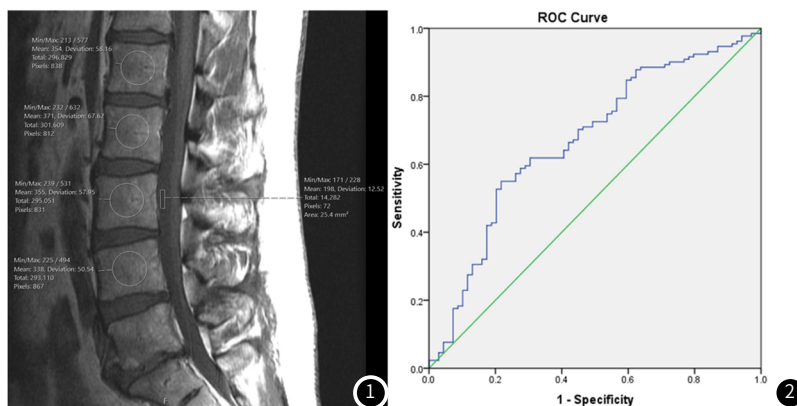


图1 VBQ(椎骨质量)评分的测量示意图。

图2 ROC分析使用VBQ值来区分骨量减少/骨质疏松患者和正常vBMD患者，在阈值为2.18时，灵敏度为84.7%，特异度为40.6%，AUC为0.670。

3 讨论

在这项研究中，我们评估了接受腰椎手术的患者基于MRI的VBQ评分与MCT所确定的骨显微结构之间的关系。因此，我们首次证明了VBQ评分与骨小梁微结构之间的关系^[10]。骨量减少/骨质疏松患者的VBQ评分和MCT参数与vBMD正常者相比差异有统计学意义。VBQ评分对骨量减少/骨质疏松症的预测能力中等^[11]。

我们发现，在65.2%的择期手术患者中，骨量减少/骨质疏松症的患病率很高。在调查选择性脊柱融合患者的少数其他研究中，类似的患病率报告为49.2%和68.6%^[12]。鉴于脊柱融合术患者骨密度降低及其相关并发症的发生率较高，导致预后较差，脊柱外科医生可能希望考虑在手术前评估骨状况^[13]。术前骨强度筛查在脊柱外科医生中并不是常规的临床实践，这在一项调查中得到了反映，在进行内固定和非内固定融合的外科医生中，分别只

有44%和12%的医生在手术前使用DEXA进行了筛查^[14]。因此，使用机会性术前CT的QCT骨密度测量，而不是额外的DEXA成像，可能会增加骨强度筛查。然而，替代标记物BMD只是骨强度的一个组成部分，不能反映骨的质量特征^[15]。因此，我们研究了骨密度以外的其他方面的骨强度。我们比较了新型无创VBQ评分在骨质疏松/骨质疏松症和正常骨之间的差异，并与被认为是骨质量评估的金标准方法MCT对骨组织的评估进行了验证^[16]。骨质疏松症/骨质疏松症患者的VBQ评分为3.04，明显高于vBMD正常组的2.57。我们的发现得到了相关研究的证实，他们在68名因退行性疾病接受脊柱手术的患者中，报告了类似的VBQ评分，骨量减少/骨质疏松症患者为3.31，正常组为2.74^[17]。考虑到我们的骨量减少/骨质疏松组比正常组年龄大得多，我们调整了年龄，VBQ

得分没有显著差异($P=0.085$)。

用金标准MCT进行骨显微结构比较,两组间差异有统计学意义。这些定量(Bv/Tv和AD)和定性的骨微结构(Conn.D、Tb.N、Tb.Sp和Smi)的发现与文献报道的骨质疏松/骨质疏松骨的不同骨量和形态一致^[18]。在我们的研究中,骨量减少/骨质疏松组和正常组的VBQ评分和MCT参数都不同。这导致了这样的假设,即通过VBQ评分评估骨强度可能是已建立的BMD测量方法的辅助工具^[19]。然而,在调整年龄后的非显著差异需要考虑并需要进一步调查。骨活检的MCT评估证实了非侵入性测量(QCT和VBQ评分)的结果,并强调了脊柱骨质疏松症/骨质疏松症在微观结构水平上的定性差异^[6]。VBQ评分基于腰椎T1加权MRI信号强度。VBQ评分的概念是基于这样的假设,即骨质疏松症导致椎骨脂肪变性,这反映在T1信号强度增加,是骨质量的潜在标志。先前的研究表明^[4],VBQ评分与髌关节-dexa衍生的aBMD以及qct衍生的腰椎vBMD存在关联。然而,目前尚不清楚VBQ评分是衡量骨质量(骨的材料和结构特性)还是骨量(BMD)。到目前为止,还没有研究检验VBQ评分与体内骨微观结构的关系^[14]。VBQ评分与骨小梁形态的定性参数相关。VBQ评分的增加与小梁连通性(Conn.D)和小梁数量(Tb.N)的减少以及小梁分离(Tb.Sp)的增加显著相关^[15]。这些发现表明,VBQ评分可能捕获了小梁微结构,并测量了骨密度以外的骨质量维度^[16]。

VBQ还与定量mCT参数BV/TV呈负相关,这一假设得到了支持,即随着脂肪浸润的增加,骨量减少,因此VBQ评分较高^[16]。定量mCT参数BV/TV与VBQ评分的关系同样得到了我们的结果的支持,三维腰椎vBMD(QCT)与VBQ评分呈显著负相关。在我们的研究中,vBMD与小梁结构有显著的相关性。腰椎的体积骨密度与定量mCT参数(BV/TV)呈正相关,但也与定性微结构参数呈正相关,这些参数描述了随着小梁连通性(Conn.D)和小梁数量(Tb.N)的减少和小梁分离(Tb.Sp)的增加而降低的vBMD^[18]。另一项研究并未发现脊柱DEXA与mCT评估的椎体活检之间存在任何相关性,原因可能是他们在研究中使用的二维DEXA测量方法存在已知的局限性^[20]。基于我们的结果,VBQ评分似乎代表了骨微观结构水平的定性因素以及定量维度(腰椎vBMD和mCT的BV/TV)。根据ROC分析,在我们的选择性腰椎融合术队列中,VBQ评分区分骨质减少/骨质疏松患者的预后准确性仅为中等水平,AUC为0.670。这与最近报道的使用VBQ评分区分脊柱融合队列(N=198)中QCT得出的正常和骨质减少/骨质疏松BMD的AUC为0.708相一致^[21]。研究报道^[22],在68名接受脊柱手术的患者中,使用髌关节DEXAs衍生的aBMD预测VBQ评分的准确率为0.81(AUC)。基于骨密度的骨质减少/骨质疏松分类的预测准确性相当有限,这可能表明VBQ评分测量的是骨密度以外的骨质量特征。VBQ评分能够区分骨质疏松/骨质疏松症和正常骨(组比较和ROC分析),但在调整年龄后不再有显著差异,ROC的预测准确性也相当中等^[23]。此外,在多元线性回归模型中,VBQ不是预测vBMD的独立因素。我们的研究表明,VBQ评分既反映了骨密度和骨小梁BV/TV等定量维度,也反映了骨强度的骨小梁微结构等定性维度。VBQ评分是一种有趣的工具,可以用来研究骨骼强度的不同维度,它是一种非侵入性、非电离成像方式,且简单而快速,可以通过平均脑脊液在不同类型的磁共振扫描仪上使用^[24]。

综上所述,我们的研究证实了VBQ评分与MCT所确定的骨小梁微结构有关。此外,它似乎不仅在微观结构水平上代表骨质量,而且还反映了以vBMD和BV/TV代表的骨量。VBQ评分可能是一种有用的非侵入性工具来研究骨强度的两个维度,即骨质量和骨数量。

参考文献

[1]李萌萌,李晓兰.128层CT定量参数与女性绝经后骨质疏松性髌部骨折类型的关系分析[J].中国CT和MRI杂志,2024,22(11):165-167.

- [2]王树纯,张春海,李少轩,等.骨质疏松症腰大肌MRI特性及其与髌部骨折的关系研究[J].中国CT和MRI杂志,2024,22(11):160-161+173.
- [3]JAMALL I S,ULLERY M C,MARCH M R,et al.Reversibility in male idiopathic osteoporosis possible[J].Endocrinol Diabetes Metab Case Rep,2023,2023(2).
- [4]LIU J,CHEN J D,LI P,et al.Comprehensive assessment of osteoporosis in lumbar spine using compositional MR imaging of trabecular bone[J].Eur Radiol,2023,33(6):3995-4006.
- [5]MIGLIORINI F,VECCHIO G,WEBER C D,et al.Management of transient bone osteoporosis:a systematic review[J].Br Med Bull,2023.
- [6]LI X,HU Y,XIE Y,et al.T2*-corrected Q-Dixon and reduced-FOV diffusion kurtosis imaging (DKI) parameters:correlation with QCT-derived bone mineral density (BMD) and ability to identify abnormal BMD and osteoporosis in postmenopausal women[J].Quant Imaging Med Surg,2023,13(7):4130-4146.
- [7]TOUSSIA-COHEN S,ESHED I,SEGAL O,et al.Transient osteoporosis of the hip in pregnancy - a case series[J].J Matern Fetal Neonatal Med,2023,36(1):2175659.
- [8]JONES B C,WEHRLI F W,KAMONA N,et al.Automated,calibration-free quantification of cortical bone porosity and geometry in postmenopausal osteoporosis from ultrashort echo time MRI and deep learning[J].Bone,2023,171:116743.
- [9]KUCUKCILIOGLU Y,SEKEROGU B,ADALI T,et al.Prediction of osteoporosis using MRI and CT scans with unimodal and multimodal deep-learning models[J].Diagn Interv Radiol,2023.
- [10]JONES B C,LEE H,CHENG C C,et al.MRI quantification of cortical bone porosity,mineralization,and morphologic structure in postmenopausal osteoporosis[J].Radiology,2023,307(2):e221810.
- [11]BAE W C.Advances and shortfalls in MRI evaluation of osteoporosis[J].Radiology,2023,307(2):e223144.
- [12]KOMNOS G A,PARIDIS D I,BANIOS K T,et al.Regional migratory osteoporosis of the knee:a literature overview[J].Musculoskelet Surg,2023,107(2):159-164.
- [13]ROCH P J,CELIK B,JACKLE K,et al.Combination of vertebral bone quality scores from different magnetic resonance imaging sequences improves prognostic value for the estimation of osteoporosis[J].Spine J,2023,23(2):305-311.
- [14]ZHANG S,GUO Q,YANG Y,et al.Feasibility study of 3D FACT and IVIM sequences in the evaluation of female osteoporosis[J].Bioengineering (Basel),2023,10(6).
- [15]BADGHISH E.A rare presentation of transient osteoporosis of the talus:case report[J].J Orthop Case Rep,2023,13(4):1-4.
- [16]PANT A,SINGH J,BARNWAL R P,et al.Theranostic approach for the management of osteoporosis[J].Crit Rev Ther Drug Carrier Syst,2023,40(3):95-121.
- [17]SHIH Y J,CHANG W N,YANG S W.Heroin-induced osteoporosis presented with bilateral femoral neck insufficiency fractures in a male adult:a case report[J].BMC Musculoskelet Disord,2023,24(1):296.
- [18]TABATA Y,MATSUI S,MIYAMOTO M,et al.Transient osteoporosis of the hip with a femoral neck fracture during follow-up:a case report[J].J Yeungnam Med Sci,2023,40(2):212-217.
- [19]PARHIALA M,UKKONEN M,SAND J,et al.Osteoporosis and sarcopenia are common and insufficiently diagnosed among chronic pancreatitis patients[J].BMC Gastroenterol,2023,23(1):124.
- [20]INIGO S A,TAMILSELVI R,BEHAM M P.A review on imaging techniques and artificial intelligence models for osteoporosis prediction[J].Curr Med Imaging,2023.
- [21]TZOULIS P,YAVROPOULOU M P,BANCHEV A,et al.Recent advancements in glucose dysregulation and pharmacological management of osteoporosis in transfusion-dependent thalassemia (TDT):an update of ICET-A(International Network of Clinicians for Endocrinopathies in Thalassemia and Adolescence Medicine)[J].Acta Biomed,2023,94(3):e2023178.
- [22]CHEN Z,LEI F,YE F,et al.MRI-based vertebral bone quality score for the assessment of osteoporosis in patients undergoing surgery for lumbar degenerative diseases[J].J Orthop Surg Res,2023,18(1):257.
- [23]PARASKEVOPOULOS K,KESKINIS A,VASIOS I S,et al.Comparison of various treatment modalities for the management of bone marrow edema syndrome/transient osteoporosis in men and non-pregnant women:a systematic review[J].Osteoporos Int,2023,34(2):269-290.
- [24]ZHAI K,WANG L,WU A F,et al.Pregnancy and lactation-associated osteoporosis with pyogenic spondylitis: a case report[J].World J Clin Cases,2023,11(17):4187-4193.

(收稿日期:2023-11-05)

(校对编辑:翁佳鸿)